

团 体 标 准

T/MMAC XXX—XXXX

金属矿山热害防治技术规范

Technical code for prevention and control of heat damage in metal mines

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国冶金矿山企业协会发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构。除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 3

 4.1 基本规定 3

 4.2 其他规定 4

5 矿山环境条件预测 4

 5.1 基础资料 4

 5.2 井下环境条件预测 5

 5.3 冷负荷计算 5

6 非制冷降温 7

 6.1 一般规定 7

 6.2 通风降温 7

 6.3 井下热水治理 7

 6.4 井下设备选择及布置 8

 6.5 井下巷道隔热 8

 6.6 硐室布置 8

 6.7 个人防护及其他 8

7 制冷降温 8

 7.1 一般规定 8

 7.2 制冷降温冷负荷 10

 7.3 地面集中式制冷 10

 7.4 井下集中式制冷 11

 7.5 井下局部制冷 11

 7.6 地面与井下联合制冷 12

 7.7 载冷剂循环系统 12

 7.8 冷却水循环系统 13

 7.9 空气冷却处理 13

 7.10 系统及设备节能 13

8 电气及自动化控制 13

 8.1 电 气 13

 8.2 监测与控制 14

9 热害矿山安全管理 14

附录 A（规范性）井下各部分热源放热量计算方法 17

 A.1 围岩放（吸）热量计算 17

 A.2 空气自压缩热计算 18

 A.3 机电设备放热计算 18

 A.4 柴油设备放热计算 19

 A.5 矿堆放热计算 19

 A.6 地下水放热计算 19

 A.7 充填体水泥水化热计算 20

 A.8 矿石氧化放热计算 20

附录 B（资料性）水分蒸发从岩壁吸热量计算 21

附录 C（资料性）机械制冷降温系统负荷计算 23

附录 D （资料性）热负荷计算参数表 24

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国冶金矿山企业协会团体标准化工作委员会提出并归口。

本文件起草单位：中国恩菲工程技术有限公司、东北大学、安徽工业大学、中南大学、本溪龙新矿业有限公司、鞍钢集团矿业有限公司、铜陵有色金属集团股份有限公司

本文件主要起草人：

金属矿山热害防治技术规范

1 范围

本文件规定了矿山环境条件预测、非制冷降温、制冷降温、电气及自动化控制、热害矿山安全管理的技术要求。

本文件主要适用于金属矿山井下热害防治的设计、实施及生产管理。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 16423 《金属非金属矿山安全规程》

GB 50016 《建筑设计防火规范》

GB 50019 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》

GB 50915 《有色金属矿山井巷工程设计规范》

GB/T 7778 《制冷剂编号方法和安全性分类》

AQ 2031 《金属非金属地下矿山监测监控系统建设规范》

AQ 2013.1 《金属非金属地下矿山通风技术规范 通风系统》

AQ 2013.3 《金属非金属地下矿山通风技术规范 通风系统监测》

AQ 2013.5 《金属非金属地下矿山通风技术规范 通风系统鉴定指标》

AQT 1067 《矿井风流热力状态预测方法》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿山热害 heat hazard in mine

指矿山井下超过国家现行标准规定的热、湿作业环境，对损害人体健康、降低劳动生产率和危及安全生产的影响。

3.2

矿山井下热湿环境 underground mine humid heat environment

矿山井下空气的干球温度、湿球温度、相对湿度和风速等的综合状态。

3.3

地热地质参数 geothermal and geological parameters

指恒温带温度与深度，地温梯度，原始岩温，岩石（矿）热导率、比热、密度，热水温度、流量、压力等参数。

3.4

地表最热月平均气象参数 ground mean meteorological parameters in the hottest month

指地表最热月空气干球温度、相对湿度、大气压力等参数的平均值。

3.5

地表夏季通风计算温度 mine ground design temperature of summer ventilation

指地表夏季通风室外计算温度，即历年最热月14时的月平均温度的平均值。

3.6

地表夏季通风计算相对湿度 mine ground design relative humidity of summer ventilation

指地表夏季通风室外计算相对湿度，即历年最热月14时的月平均相对湿度的平均值。

3.7

热负荷 heat load

矿山井下各热、湿源的散热量和吸热量，包括围岩放热、空气自压缩放热、机电设备放热、柴油设备放热、矿堆散热、地下水放热、其他热源放热。

3.8

空气冷却能力 air cooling capacity

进入矿山井下的空气在终端温度不超过安全规程要求的情况下可以带走的井下热负荷。

3.9

非制冷降温 non refrigeration cooling

采用增加通风量、改善通风系统等非制冷措施，使井下作业地点的气象条件达到安全规程的要求。

3.10

制冷降温 refrigeration cooling

采用制冷措施，通过冷风、冷水、冰或其他介质冷却井下作业地点的进风风流，使井下作业地点的气候条件达到安全规程的要求。

3.11

矿山制冷降温系统 mine refrigeration system

由制冷机组、井下空气冷却器等设备和管道及附件、仪器仪表等构成的系统。

3.12

矿山制冷降温冷负荷 mine cooling load of refrigeration

采用机械制冷方法，维持井下作业地点所要求的环境温度，由制冷系统供给的冷量。

3.13

矿山集中制冷 mine centralized refrigeration

制冷机组集中设置在地面或井下制冷站内，向多个作业地点供冷的方式。

3.14

矿山局部制冷 mine local refrigeration

小型制冷机组设置在作业地点附近，分散供冷的方式。

3.15

高低压换热器 high and low pressure heat exchanger

利用高压低温载冷剂冷却低压高温载冷剂的换热器。

4 总则

4.1 基本规定

4.1.1 矿山热害防治技术措施应遵循防治结合的原则，避免热环境损害员工健康。

4.1.2 井下人员作业场所的气象条件应遵守现行国家标准《金属非金属矿山安全规程》GB16423的规定：

- a) 人员连续工作场所的湿球温度不高于 27℃；通风降温不能满足要求时，应采取制冷降温措施或其他防护措施；
- b) 湿球温度超过 30℃，应停止作业；
- c) 湿球温度为 27℃～30℃时，人员连续作业时间不应超过 2h，且风速不小于 1.0m/s；
- d) 湿球温度为 25℃～27℃时，风速不小于 0.5m/s；
- e) 湿球温度为 20℃～25℃时，风速不小于 0.25m/s；
- f) 湿球温度低于 20℃时，风速不小于 0.15m/s。

4.1.3 热害矿山设计时，应符合以下规定：

- a) 开采工艺应考虑矿山热害防治的要求，采矿方法、采准工程布置应有利于人员和设备工作的作业面形成贯穿风流；
- b) 通风系统宜优先采用分区通风或对角式抽出通风方式；
- c) 主要进风巷道应布置在原岩温度较低的岩层中，同时应合理缩短进风线路的长度，使新鲜空气直接进入作业面，减少风路对新鲜空气的放热；
- d) 井下应优先使用电动设备，减少柴油设备的使用；
- e) 应提高矿山整体机械化、自动化水平，减少作业人员暴露在高热环境的时间；
- f) 矿山井下巷道风速应满足现行国家标准《金属非金属矿山安全规程》GB16423 的要求；
- g) 当加大风量难以满足井下热害防治要求时，应通过技术经济比较确定合理的降温技术方案。

4.1.4 热害矿山基建时，应符合以下规定：

- a) 应结合基建期不同阶段井下开拓工程施工进度、设备及人员投入等情况，制定合理的热害防治措施；
- b) 矿山宜采取分期、分区的热害防治原则，优先利用生产期的永久设施；
- c) 应科学合理编制矿山基建进度计划，集中一个中段进行贯通，优先形成基建期矿山全负压通风系统；

- d) 掘进巷道断面应优先考虑采用大直径风筒的局部通风方式，满足独头巷道作业面的排热需求；
- e) 应考虑长距离独头掘进作业面热负荷大小，制定热害防治措施；采用加大通风等措施难以解决热害的情况下，宜设置局部制冷降温设施；
- f) 采掘作业装备宜以电动设备为主，提高机械化程度；无轨设备应配置空调驾驶室。

4.1.5 热害矿山生产时，应符合以下规定：

- a) 井下作业区应尽可能集中，以减少风流损失和岩石散热；
- b) 独头掘进作业宜设置局部制冷措施；
- c) 井下热源宜避开进风风流，隔绝或减少热源向进风风流传递；
- d) 无轨自行设备特别是柴油设备应尽量减少在新鲜风流中非工作状态的逗留时间；
- e) 变压器和其他发热量大的设备不宜布置在供给工作面的进风风流中；
- f) 热水管或热水水沟宜布置在回风井巷中；若需布置在进风井巷中时，应采取加设盖板等隔热措施；
- g) 采空区热源应及时进行封堵或抽排，引入回风风流中。

4.2 其他规定

4.2.1 矿山热害防治技术方案应根据地质基础资料、开采技术条件、采矿方法、开拓系统、通风系统、制冷降温范围、矿坑涌水情况、采掘装备机械化程度及其他类似矿山热害防治经验等进行综合技术经济论证和确定。

4.2.2 热害矿山确定开拓运输系统、开采方案时，应充分考虑通风和制冷降温系统设置的要求。

4.2.3 热害矿山宜采用按需智能通风，保障人员、设备作业点处有充足的风量；采用地表制冷系统或井下制冷系统时，应确定制冷系统的运行方案，包括开启条件、运行制度等。

4.2.4 热害矿山宜考虑矿井回风、排水、机械等余热的综合回收利用。

5 矿山环境条件预测

5.1 基础资料

5.1.1 矿山环境条件预测应收集并分析下列气象及地质方面的基础资料：

- a) 矿山所在地与地温相关的地质资料，包括：地热地质参数及地温等值线图、矿层底板地温等值线图、地温钻孔资料等；
- b) 矿区或邻近矿区最近 10 年及以上的地表历年各月平均气温、相对湿度、大气压力等气象资料；
- c) 邻近生产或在建矿山的实际地热地质资料和作业气象条件；
- d) 矿区不同种类岩石的热物理性质测试资料；
- e) 地下水来源、分布、通道、水量、温度、水质等水文地质资料。

5.1.2 新建矿山环境条件预测应收集矿山开采设计的相关资料：

- a) 矿山设计的开采方案，包括开拓系统、开拓工程布置、采矿方法、回采顺序等；
- b) 矿山设计的竖井、巷道或硐室的断面尺寸、支护方式、线路长度等；
- c) 通风方式选择及通风系统布置、风机功率等；
- d) 矿山所选择的采掘设备信息，包括型号、数量、功率、使用地点、利用率等；
- e) 井下人员作业情况，包括人员数量、工种、作业地点等。

5.1.3 改建、扩建和延深矿山环境条件预测应增加收集下列资料：

- a) 近 10 年内井下各中段关键位置、不同岩性区域、不同作业点的历年各月平均气温、相对湿度、大气压力等实测资料；
- b) 采掘作业面状况，作业设备型号及数量、供风量、顶底板岩性、围岩初始温度，每班作业人数等；
- c) 矿区不同地热涌水点水温、热水流量、压力等记录资料。

5.2 井下环境条件预测**5.2.1 热害矿山环境条件预测应包括采、掘作业面及设备硐室最热月环境，预测结果应包括下列内容：**

- a) 主要工作面最热月的平均干（湿）球温度、相对湿度及日最高温度；
- b) 主要机电设备硐室最热月的平均干（湿）球温度、相对湿度及日最高温度，机电设备中设备运行台数最多时的平均干（湿）球温度、相对湿度及日最高温度等；
- c) 采掘工作面和主要机电设备硐室气温超限的月份；
- d) 热害分析、论证或评价所需的热源分析结果及其他参数。

5.2.2 热害矿山环境条件预测时期应与矿山产量相对应，并应符合下列规定：

- a) 新设计矿山应预测投产时期、达产时期及热害最严重时期；
- b) 改建、扩建、延深矿山和生产矿山应预测热害防治工程建成使用时期和热害最严重时期。

5.2.3 矿山环境条件的预测方法应符合下列规定：

- a) 预测方法应根据矿山实际条件选择，包括数学分析法、模型模拟法和实测统计法等，不同预测方法的预测结果宜相互校验；
- b) 生产矿山的改建、扩建和延深设计时，可采用邻近矿山或现有矿山已验证的预测方法；
- c) 预测内容应包括井下主要热源、湿源与风流的热、湿交换，主要热源包括围岩、空气自压缩、柴油设备、机电设备、热水等；
- d) 预测地点在风流汇合处，应计算风流汇合前、后的风流参数；
- e) 应在井下人员、设备集中场所加强预测工作。

5.3 冷负荷计算**5.3.1 采用数学分析法进行冷负荷计算时，应遵守以下原则：**

- a) 井下热源放热量宜按附录 A 各部分分别计算并汇总；
- b) 热害矿山采用矿山集中制冷时，宜计算有人员或设备作业的进风侧的放热量，无人员或设备作业的回风侧可不考虑；
- c) 计算局部制冷降温时，除了考虑井下围岩放热、空气自压缩放热、机电设备放热、柴油设备放热等主要热源之外，还应考虑充填体水化热、矿堆散热、人体散热等热量。

5.3.2 岩石热物理参数选取

- a) 矿山热负荷计算所依据的原始参数可由地质、生产部门的实测资料提供；若无实测资料，可参照类似矿山的资料。
- b) 岩石热物理参数包括岩石导热系数 λ (kJ/mh·°C)、岩石比热 C (kJ/kg·°C)、岩石体重 γ_g (kg/m³)，宜经过现场取样测试，通过室内岩石热力学参数试验，获取岩石热物理参数；无实测值时可参照附录 D 中表 D.1 选取。
- c) 原始岩温应按下式计算：

$$T = t_0 - (H_0 - H) / G_t \quad (1)$$

式中：

T —巷道所在标高的平均原始岩温，°C；

H —巷道平均标高，m；

H_0 —恒温带标高，m；若无实测值，可按附录 D 表 D.2 选取；

t_0 —矿区恒温带平均温度，°C； t_0 值应由地质部门提供，当矿区地面标高接近海平面时， t_0 值可比当地历年平均气温高 0.8°C；若矿区地面标高为海拔 200m~500m 时， t_0 值可比当地年平均气温高 1°C~2°C；

G_t —地温率，m/°C，若无实测钻孔数据，可按附录 D 表 D.3 选取。

5.3.3 井下热源主要包括：围岩放热、空气自压缩放热、机电设备放热、柴油设备放热、矿堆散热、地下水放热、其他热源放热等。其放热量应按下式计算：

$$\Sigma Q_t = q_w + q_z + q_j + q_D + q_m + q_w + q_c + q_0 + q_t \quad (2)$$

式中：

ΣQ_t —井下热源总放热量，kW；

q_w —围岩放（吸）热量，kW；

q_z —自压缩的理论热负荷，kW；

q_j —机电设备放热量，kW；

q_D —柴油设备放热量，kW；

q_m —矿堆放热量，kW；

q_w —地下水放热量，kW；

q_c —充填体水化放热量，kW；

q_0 —氧化散热量，kW；

q_t —其他散热量，如作业人员、照明等，kW。

其他热源包含充填体水化热、矿石氧化、照明等，在计算井下总热负荷时，由于其放热量小，可暂忽略不计；在计算井下局部热负荷时，则应考虑。井下各部分热负荷根据附录 A 内公式 1 至 12 进行计算。

5.3.4 井下热负荷计算时，应考虑潮湿井巷的壁面水分蒸发吸热，潮湿井巷的壁面水分蒸发量和潮湿井巷表面水分蒸发从空气中的吸热量按附录 B.1 进行计算。

5.3.5 通过公式 2 和附录 B.1 公式计算出井下风流各热源的放热量和水分蒸发的吸热量后，可通过附录 B.5 热力平衡公式计算出末端工作面空气参数。

6 非制冷降温

6.1 一般规定

6.1.1 矿山井下总需风量应满足 4.1.2 节风速要求，无轨设备或人员作业集中的地方应加强通风，提高作业面的风量。

6.1.2 热害矿山应考虑通风降温、井下热水治理、设备选择及布置、井下巷道隔热、硐室独立回风、其他热害防治措施。

6.2 通风降温

6.2.1 在矿山热害防治设计时，应满足 4.1.3 的要求。

6.2.2 热害矿山井巷工程布置时，应考虑加大通风降温的需要。

6.2.3 考虑局部加大通风时，应考虑风机的送风能力、风筒性能、作业面允许风速等因素。

6.2.4 应通过计算确定通风降温的经济风速和最大送风量。

6.2.5 矿山有条件时，宜利用环境状态良好的浅部废弃巷道进行风流预冷。

6.3 井下热水治理

6.3.1 矿山有热水涌出时，宜优先采用疏放或封堵措施，并使进风道保持干燥，避免潮湿，远离排水巷道、泄水井等，疏放出来的热水宜单独排出。

6.3.2 矿山有热水涌出时，主要进风井巷布置应符合下列规定：

- a) 宜避开热水涌出等局部高温区和含水层、透水性强的岩层及断层裂隙带；
- b) 当进风井巷布置在有热水涌出、渗出的地带或含水裂隙带时，宜采取封堵、截水、导水、防水隔热等治理措施。

6.3.3 采掘工作面防尘、混凝土支护、凿岩等作业用水，宜采用自然冷水。

6.3.4 采用胶结充填采矿法开采的热害矿山，为减少水泥或胶凝材料水化热的散发，采场充填滤水外排应统一管理，宜采用管道或封闭水沟排至水仓。

6.4 井下设备选择及布置

6.4.1 井下移动式采掘设备宜优先使用电动设备，减少柴油设备的使用，移动式采掘设备宜配置空调驾驶舱。

6.4.2 应提高矿山整体机械化、自动化控制水平，减少作业人员在高热环境的暴露时间。

6.5 井下巷道隔热

6.5.1 热害矿山揭露岩体后，宜采用隔热混凝土、多孔类材料等对围岩进行及时封闭，阻隔高温围岩向井巷传热。

6.5.2 隔热材料应选用无毒无害材质，不影响井巷支护强度，并便于快速施工。

6.6 硐室布置

6.6.1 热害严重的机电设备或维修硐室宜进行独立通风，其回风风流宜直接引入回风巷道内；采矿工作面的机电设备宜放在回风侧中。

6.6.2 热害矿山需要人员值守的硐室宜配备空调舱。

6.6.3 主要机电设备硐室宜采取减少围岩和设备散热，增加风量、局部通风排热和选用水冷型电机等措施。

6.7 个人防护及其他

6.7.1 在矿山热害严重的作业点，作业人员应配戴防热害的工作服和个人防护装备。

6.7.2 宜充分利用天然冷源或已有冷源进行井下降温。

7 制冷降温

7.1 一般规定

7.1.1 当采用非制冷降温措施，地下作业地点的湿球温度不能满足 4.1.2 条的相关规定时，应采用制冷降温措施。

7.1.2 采用制冷降温措施时，宜根据矿山建设条件、制冷降温冷负荷和类似矿山经验，经技术经济分析论证后，选用以下制冷降温方式：

- a) 地面集中制冷降温，包括直接冷却进风送至井下、制备冷水送至井下、制备冰送至井下；
- b) 井下集中制冷降温；
- c) 地面与井下联合制冷降温；
- d) 井下局部制冷降温。

7.1.3 热害矿山制冷降温方式可根据以下原则选择：

- a) 矿山制冷降温冷负荷小于 700kW 时，宜采用局部制冷降温方式；矿山制冷降温冷负荷大于 1500kW 时，宜采用集中制冷降温方式。

- b) 制冷降温系统的冷媒一般采用空气或水，具体形式应根据技术经济论证确定；当矿山超过一定深度，且空气或水排热受限时，经技术经济分析论证后，可采用地面集中制冰送至井下的降温方式。

7.1.4 制冷机组的总制冷量应根据制冷降温负荷考虑 1.10~1.20 的富余系数。

7.1.5 集中制冷降温系统的冷水机组单台制冷量不宜小于 500kW，台数不宜少于 2 台。

7.1.6 制冷机组的输入能源形式，宜根据以下原则选择：

- a) 有余热源（如蒸汽或热水）利用时，且技术经济论证合理时，宜采用吸收式冷水机组；
- b) 无余热源可利用时，宜采用电压缩式制冷机组。

7.1.7 符合下列条件之一，且技术经济论证合理时，冷源宜采用蓄冷方式：

- a) 执行峰谷电价且峰谷电价差大的矿山；
- b) 电能的峰值供应量受到限制不能满足要求的矿山；
- c) 利用已有冷源，增加蓄冷装置的方式能取得较好效益的改建矿山。

7.1.8 制冷机组的冷凝热排放方式，应进行技术经济比较确定，并符合下列规定：

- a) 制冷机组冷却水的供、回水温差不宜大于 10℃；
- b) 地面排放冷凝热时，宜采用冷却塔；
- c) 当井下排水的水质、水量、水温满足设计要求时，宜优先使用水冷制冷机组；当干球温度小于 29℃时，宜优先使用空气冷却制冷机组；
- d) 井下制冷机冷凝温度应根据冷凝条件经技术经济比较后确定；
- e) 冷凝热不应排放至矿山进风井巷中。

7.1.9 制冷机组的制冷剂选择应符合防火、不爆炸、无毒、环保等要求；井下制冷机组应选用 GB/T 7778 所规定的安全分类 A1 类制冷剂，并且具有质检部门出具的合格证书，禁止采用氨作为制冷剂。

7.1.10 井下爆炸危险区域设置的制冷设备应采用防爆型。

7.1.11 制冷站（硐室）设计应符合下列规定：

- a) 地面制冷站应符合现行国家标准《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50019 的有关规定；采用氨压缩制冷时，地面制冷站距进风井口的位置不应小于 200m，且应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016 的相关要求。
- b) 井下制冷站（硐室）应符合现行国家标准《有色金属采矿设计规范》GB50771 及《有色金属矿山井巷工程设计规范》GB50915 的有关规定；制冷站（硐室）的位置和布置应有利于供冷和排除冷凝热；排放冷凝热的喷淋硐室位置，宜靠近制冷站硐室。
- c) 井下制冷站（硐室）应尽量靠近冷负荷中心。
- d) 井下制冷站（硐室）应预留机房内最大设备运输、安装的孔洞和通道，宜在机房上部预留吊钩或设置电动起吊设备。
- e) 制冷设备的布置宜满足表 1 要求。

表 1 制冷设备布置的间距

| 项目 | 间距（净距） |
|-----------------------|-------------------|
| 制冷机组与墙之间 | ≥1.0m |
| 制冷机组与配电柜之间 | ≥1.5m |
| 制冷机组与机组或其他设备之间 | ≥1.2m |
| 蒸发器、冷凝器、低温发生器的维修距离 | ≥蒸发器、冷凝器、低温发生器的长度 |
| 制冷机组与其上方的管道、烟道、电缆桥架之间 | ≥1.0m |
| 主要通道的宽度 | ≥1.5m |

f) 井下制冷站（硐室）应通风良好；当自然通风不能满足要求时，应设置机械通风；井下制冷降温设备硐室应设事故通风，且事故通风应排至回风巷道。

7.1.12 井下制冷机及其配套设施的最大件尺寸应满足井下运输的要求。

7.1.13 制冷降温系统的制冷机组、冷水泵、冷却水泵、冷却塔风机宜采用变频控制。

7.1.14 系统中有超压危险的管道和装备应设置安全阀，并应采取有效的泄压排放措施。

7.2 制冷降温冷负荷

7.2.1 制冷降温总冷负荷应按下列式计算：

$$\sum Q_L = \sum Q_t + q_q + q_r + q_x \quad (3)$$

式中：

$\sum Q_L$ —制冷降温总冷负荷，kW；

$\sum Q_t$ —井下热源放热量（见 5.3.3），kW；

q_q —其他环节需要（如作业面用冷水）的冷负荷，kW；

q_r —输冷或换热环节造成冷量损失的附加冷负荷，kW；

q_x —新风冷负荷（见附录 C.1），kW；

7.2.2 井下工作面或机电设备硐室制冷降温送风空气参数，应根据送风方式的不同，分别进行计算，计算方法见附录 C。

7.3 地面集中式制冷

7.3.1 地面集中式制冷采用直接冷却进风送至井下方式时，应符合下列规定：

- 空气冷却处理设备宜采用表面冷却器或喷淋室；
- 空调机房及空气冷却处理设备宜结合冬季井筒防冻需求设计；
- 表面冷却器的迎面风速不应大于 2.5m/s，表冷段的出风侧应设有挡水板。

7.3.2 地面集中式制冷采用制备冷水送至井下方式时，应符合下列规定：

- a) 地面集中制冷的冷水送入井下，输冷管道管内水流速不宜大于 2.5m/s。当输冷管道敷设在井筒内时，管径不宜大于 DN500，当有足够的安装空间且可确保安全时可放大管径；单独钻孔敷设时，管径可没限制；输冷管道不宜布置在回风井巷中；
- b) 当井深大于 600m 时，地面集中降温系统的冷冻水系统应在井底设置高低压换热器进行压力分区，并应符合下列规定：
 - 1) 高低压换热器供回水管应按工业压力管道 GC1 级设计及施工安装；
 - 2) 当高低压换热器采用间接交换方式时，二次载冷剂温升不宜超过 4℃；
 - 3) 当高低压换热器采用三腔高低压转换器时，载冷剂温升不宜超过 0.5℃。

7.3.3 地面集中式制冷采用制冰送至井下方式时，应符合下列规定：

- a) 输冰系统宜有防冲击和防堵措施；
- b) 采用制冰降温系统时，井下宜设置融冰池，融冰池设计应符合下列规定：
 - 1) 融冰池有效容积宜按 30min~60min 井下载冷剂循环量设计，有效水深宜按 1.2m~1.5m 设计；
 - 2) 载冷剂进出口应分别布置在融冰池两端；
 - 3) 落冰口应水平布置在融冰池中部，并应朝向融冰池进水口端，高度宜在设计水深的中部。

7.4 井下集中式制冷

7.4.1 制冷机组及主要辅助设备应设置在井下制冷站硐室内。硐室的位置选择和内部布置应有利于供冷和排放冷凝热，并应满足设备的通风、搬运、安装、维修、操作等要求。

7.4.2 采用水作为载冷剂时，冷冻水供水温度不宜高于 7℃，回水温度不宜高于 18℃。

7.4.3 利用矿山回风排放冷凝热时，应符合下列规定：

- a) 冷却水喷淋硐室的位置宜靠近制冷站硐室；
- b) 冷却水喷淋硐室的空气流速宜为 2.5m/s~7.5m/s。

7.4.4 冷冻水系统宜采用闭式循环系统。

7.4.5 采用地面冷却塔排放冷凝热时，冷却水循环水泵宜设置在地面。

7.5 井下局部制冷

7.5.1 井下局部制冷宜采用移动式制冷机组，应符合下列规定：

- a) 机组冷凝器采用风冷方式时，应确保冷却风流完全吸收机组冷凝热；
- b) 机组冷凝器采用水冷方式时，宜采用直接冷却方式；当采用井下排水排放冷凝热时，还应校核水质、水量和水温能否满足设计要求。

7.5.2 制冷机组的冷却方式与冷凝温度应根据井下冷凝条件确定，当移动式降温设备在井下不同地点运行时，应根据最不利冷凝条件确定。

7.5.3 采用井下回风带走冷凝热时，制冷机冷凝器宜采用循环冷却水间接换热方式。

7.5.4 移动式制冷机组为直接蒸发式时，蒸发温度不宜低于 2℃；移动式制冷机组载冷剂为冷水时，载冷剂出口温度不宜高于 5℃，入口温度不宜高于 18℃。

7.5.5 独头掘进巷道或深竖井的作业面降温，宜采用风冷型移动式制冷机组。

7.6 地面与井下联合制冷

7.6.1 地面与井下联合制冷系统应合理分配地面及井下制冷系统各自承担的冷负荷。

7.6.2 地面制冷系统采用直接冷却进风风流时，地面空气冷却器宜结合井筒防冻需求设计。

7.6.3 地面制冷站及井下制冷硐室宜靠近敷设载冷剂管道的井筒或钻孔布置。

7.7 载冷剂循环系统

7.7.1 载冷剂的选择应考虑原材料的来源、腐蚀性、水溶性、冷媒温度等因素。

7.7.2 载冷剂直接接触的设备和管道应考虑载冷剂特性。当载冷剂采用盐溶液（如氯化钠、氯化钙水溶液）或者有机溶液（如乙二醇、丙二醇水溶液）时，载冷设备和管道应考虑相应防腐措施。

7.7.3 载冷剂循环泵选型应符合下列规定：

- a) 载冷剂循环泵宜与制冷机组一对一配置，并设置备用泵；
- b) 水泵选型除满足额定工况要求外，还应满足运行负荷调节的要求。

7.7.4 一、二级载冷剂循环泵前均应设置过滤器，过滤器应符合下列规定：

- a) 高低压换热器采用间接换热时，过滤精度宜高于 1mm；
- b) 高低压换热器采用直接换热（如三腔高低压转换器）时，过滤精度宜高于 0.3mm；
- c) 过滤器宜有压差检测报警和自动反冲洗功能。

7.7.5 井下载冷剂循环系统宜采用闭式膨胀罐定压补水，补水引自地面给水管或一次载冷剂循环管时应有减压措施。

7.7.6 安装在井筒内或保温钻孔内的载冷剂管道流速不宜大于 2.5m/s。

7.7.7 载冷剂管道宜采用预制保温管，管道保冷材料应具有保冷、防潮、防水、阻燃、抗压、无毒、无刺激气味等性能。

7.7.8 载冷剂输送管道的敷设应符合下列规定：

- a) 管道水平敷设段的坡度不宜小于 1‰；
- b) 管道沿井筒敷设时，井筒应留有管道安装、检修和更换空间；
- c) 管道不宜布置在回风井巷中。

7.7.9 采用制冰降温系统时，载冷剂输送系统应符合下列规定：

- a) 输冰管道应有防堵措施，输冰管转弯半径不宜小于该管道直径的 8 倍，弯头处应设疏出口；
- b) 输冰管道下端应有防冲击措施；
- c) 融冰池应有保温措施。

7.8 冷却水循环系统

7.8.1 冷却水系统的水质应符合国家现行标准的要求，并应采取下列措施：

- a) 水泵或冷水机组的入口管道上应设置过滤器或除污器；
- b) 采用水冷管壳式冷凝器的冷水机组，宜设置冷凝器自动在线清洗装置。

7.8.2 制冷降温系统的冷却水应循环使用。当开式冷却水系统不能满足制冷机组的水质要求时，应采用闭式循环系统或设置间接换热器。

7.8.3 冷却水泵选择应符合下列规定：

- a) 冷却水泵的台数及流量应与制冷机组匹配；
- b) 冷却水系统宜设置备用泵，冷却水泵总台数不应少于 2 台。

7.9 空气冷却处理

7.9.1 井下空气冷却器的空气处理方式宜采用表面式，不宜采用直接喷淋式。

7.9.2 井下空气冷却器的处理风量应小于所在巷道处的风量。

7.9.3 井下空气冷却器选型应符合下列规定：

- a) 空气冷却器风流出口温度不宜高于 21℃，进、出口温差宜为 6~12℃；
- b) 空气冷却器载冷剂出口温度不宜高于 18℃，进、出口温差宜为 7~15℃；
- c) 表面式冷却器的翅片间距宜大于 4.2mm。

7.9.4 井下空气冷却器的布置位置应有利于作业地点的降温、不影响正常作业且不易损坏。

7.9.5 回采或掘进工作面的空气冷却器布置应符合下列规定：

- a) 空气冷却器应布置在巷道进风侧，并通过风筒导入工作面进风口；
- b) 空气冷却器宜靠近风筒出口布置，当空气冷却器远离风筒出口布置时，空气冷却器后的风筒宜采用保温风筒；
- c) 为满足工作面冷负荷要求，应顺风流方向布置单级或多级空气冷却器。

7.9.6 空气冷却器排出的冷凝水宜回收作为降温工作面的洒水或空气冷却器冲洗用水。

7.10 系统及设备节能

7.10.1 当制冷降温系统需要兼顾冬季供热需求时，制冷机组宜采用热泵形式。

7.10.2 在技术经济合理的前提下，制冷机组的冷凝热宜回收利用。

7.10.3 制冷机组应根据载冷剂进口温度自动调节，并根据运行负荷自动调节制冷系统机组的运行数量。

8 电气及自动化控制

8.1 电 气

8.1.1 热害严重的矿山通风系统主通风机应划分为矿山电力负荷中的一级负荷。

8.1.2 矿山制冷站的电动机及其供配电、控制设备选型应符合现行国家标准的有关规定。

8.1.3 矿山制冷站的电力负荷，应根据实际装机容量，按需用系数法或其他方法计算，并酌情考虑远景规划容量。

8.1.4 矿山降温设备的电压等级应与矿山供配电电压一致。

8.1.5 矿山制冷降温系统设置变电所时，其配电变压器不应少于 2 台；当 1 台变压器停止运行时，其余变压器容量应能保证全部一、二级负荷的用电。

8.1.6 矿山集中降温系统的电气设备宜靠近制冷设备间单独布置。

8.2 监测与控制

8.2.1 矿山降温监控系统应与矿山安全监控系统统一规划，并接入矿山安全生产监控系统。

8.2.2 矿山降温系统应设置监测与控制设施，包括监测、显示、计量、调节与控制、联锁与自动保护、集中监控与管理等。

8.2.3 矿山采用制冷降温系统时，宜采用远程集中控制方式。

8.2.4 矿山制冷降温系统和井下作业环境应设置检测温度、流量、压力等参数的仪表，并应符合下列规定：

- a) 矿山制冷装置中的主要参数检测，应符合 GB50019 的有关规定；
- b) 作业地点应设置风流的干、湿球温度和风速的检测仪表；
- c) 应在进风石门、副井车场、主要大巷、斜坡道交叉点及机电硐室等主要作业环境设置监测点；
- d) 检测空气干、湿球温度和风速的传感器应安装在风流稳定、具有代表性的位置。

8.2.5 制冷降温监控系统应具有下列监测与控制功能：

- a) 矿山宜建立在线监测监控系统，系统应具有报警和保护功能，并在控制室设置声光报警信号；作业面和机电硐室的气象条件超出设定范围时，系统应能发出报警信号；
- b) 当设置多台套制冷降温系统时，宜设置群控功能，确定多台套制冷降温系统之间的先后启动顺序、加减载的操作顺序；
- c) 制冷降温监控系统设有冗余时，监控系统应能自动投入备用设施，替换故障组件或故障子系统；
- d) 制冷降温系统设有多种运行模式时，监控系统应能根据环境气象条件选择并平滑切换运行模式；
- e) 监控系统应具备存储历史数据的功能，并可利用软件进行数据分析，以优化系统运行。

8.2.6 仪器、仪表的选型应满足工艺设备安全经济运行、在线检修及系统测试的要求。

9 热害矿山安全管理

9.1 通风和制冷系统应随开采方案的改变以及矿山开拓、生产的进展进行相应调整。

9.2 矿山作业地点的环境条件应符合国家标准《金属非金属矿山安全规程》GB16423 的有关规定。高温矿山井下作业，应合理调整作业时间，避开夏季白昼高温的时段作业；也可通过合理调整生产负荷来应对井下热害。

9.3 应定期对井下作业点或巷道关键交叉点处风速、风温、湿度及氧含量进行监测与记录，每月形成采区或生产中段通风降温效能评价；每季度或半年形成矿山降温系统的分析总结报告。

9.4 热害矿山应根据生产的变化，动态监测矿山井下环境，并应符合下列规定：

a) 在进行高温监测时，应符合下列规定：

- 1) 作业场所无生产性热源的，选择 3 个测点，取平均值；
- 2) 存在生产性热源的，选择 3~5 个测点，取平均值；
- 3) 作业场所被隔离为不同热源环境或通风环境的，每个区域内设置 2 个测点，取平均值。

b) 常年从事高温作业的，选择在夏季最热月测量；

c) 不定期接触高温作业的，选择在工期内最热月测量；

d) 作业环境热源稳定时，每天测 3 次，工作班开始后及结束前 0.5h 分别测 1 次，工作班中间测 1 次，取平均值。

9.5 每季度应对热害矿山地表及井下机械制冷机组进行制冷量进行标定一次，并对其运行能效进行测试和诊断分析。

9.6 加强通风系统的管理，减少风流特别是冷空气的泄漏和其它损失，应符合下列规定：

a) 独头工作面或采场宜选用高效节能局部通风机，采用风筒将冷空气直接送到工作面，减少冷能的损耗；

b) 矿山应建立完善的通风工作制度及设备维护程序，并有效实施。

9.7 制冷站安全管理，应符合下列规定：

a) 制冷站应设立安全管理部门，负责全站安全管理工作。定期对制冷站进行全面安全检查，及时发现和消除安全隐患；

b) 制冷系统应设置压力表、安全阀、高、低压保护等压力安全监控、保护装置。安全阀、压力表每年至少校验一次；

c) 压力容器的定期检验周期按国家有关规定执行；

d) 制冷系统的所有管道阀门应有防止误操作标识；

e) 井下制冷站房应设氧气浓度传感器并与机械通风设施联锁，机械通风换气次数不小于 12 次/h；

f) 井下制冷站应设标准制冷剂气罐，用于回收制冷剂。回收时气罐内的压力不应超过气罐的标称压力和重量。不同性质的制冷剂不应混装；

g) 制冷系统灌注制冷剂时，操作人员应按照操作规程和安全制度操作，操作人员应站在上风侧操作；

- h) 制冷机运行、维修人员应经过制冷专业培训合格后才能上岗。操作和维修人员应配备防毒装备，并应定期检查防毒装备的保管和使用情况。

9.8 热害矿山应制定针对热害的工作制度和管理制度，编制主通风机、制冷系统等停止工作时的应急预案，制定热害突发时的撤离路线，绘制撤离路线图。应急预案和撤离路线图应符合下列规定：

- a) 热害突发应急预案应包含应急机构组成、责任人、灾前准备工作、热害预警信息收集与发布、预防措施、应急对策、现场处置、应急结束、后期处置等；
- b) 撤离路线图应标记热害矿山热源位置，并应根据井下热源实际位置进行及时更新。

9.9 热害矿山应设置热害防治安全管理机构，对下井作业人员定期进行热害安全预防培训，包括循序渐进式耐热训练、个体防护用具使用、井下热损伤演练及应急救护等。

附录 A

(规范性)

井下各部分热源放热量计算方法

A.1 围岩放（吸）热量计算

围岩放热量跟地表进入井空气温度、湿度及围岩温度有关，入井温度低于围岩温度，围岩放热；若入井温度高于围岩温度，围岩吸热，对井下降温起到积极作用。围岩放（吸）热量应按下式计算：

$$q_w = K_\tau LU(t_{rm} - t_0) \quad (\text{A.1})$$

式中：

q_w —围岩放（吸）热量，kW；

U —巷道周长，m；

L —巷道长度，m；

t_{rm} —平均原始岩温，℃；

t_0 —井巷平均风温，℃；

K_τ —围岩与风流间不稳定传热系数，kW/(m²·K)。

K_τ —是指井巷围岩深部岩体与风流温差为 1℃时，单位时间内每平方米巷道壁面向空气放出或吸收的热量，与围岩的热物理性质、井巷形状尺寸、风量大小和通风时间有关。 K_τ 的计算可以通过基于半无限大物体不稳定传热计算，引入形状修正系数，将巷道近似作为无限长圆柱体，可以得出不稳定传热系数近似值。

$$K_\tau = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1.13}{\beta} \sqrt{\frac{\tau}{c\rho\lambda}}} \quad (\text{A.2})$$

式中：

a —放热系数，对于混凝土支护巷道， $a = 6.16\omega^{0.8}d^{-0.2}$ ，W/(m²·K)；

ω —风流流速，m/s；

d —巷道当量直径，m， $d = 0.564\sqrt{S}$ ；

β —形状修正系数，对于长方形（大长度）拱形巷道：

$$\beta = 1 + 0.76 \frac{\pi}{u} \sqrt{\frac{\lambda}{3.6c\rho}} \tau \quad (\text{A.3})$$

式中：

u —巷道周长，m；

λ —岩石的导热系数，W/(m·K)；

c —岩石的比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$;

ρ —岩石的密度, kg/m^3 ;

τ —矿井通风的时间, h 。

A.2 空气自压缩热计算

通常情况下定压比热容为一个常数, 对于每压缩 1kg 空气 102m , 定压比热容仅变化 1kJ 。即干球温度的变化规律为: $1/(1.004 \times 102 \times 1) = 0.00977^\circ\text{C}/\text{m}$, 或者 $1^\circ\text{C}/102\text{m}$ 。干球温度每 100m 温度梯度为:

$$\Delta t = \frac{1+w}{1.02(1.004+1.884w)} \quad (\text{A.4})$$

式中:

Δt —温升, $^\circ\text{C}$;

w —含湿量, 每 kg 干空气中水蒸汽的含量, kg/kg 。

湿球温度的变化, 取决于竖井进口空气的温度和湿度, 以及竖井中压力的变化, 一般约为 $0.467^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。

空气绝热压缩的理论热负荷为:

$$q_z = Q\rho E\Delta d \quad (\text{A.5})$$

式中:

q_z —自压缩的理论热负荷, kW ;

Q —竖井中的空气流量, m^3/s ;

ρ —空气密度, kg/m^3 ;

E —海拔每增高 102m , 能量的增量 ($1/102$), kW ;

Δd —海拔变化。

A.3 机电设备放热计算

井下机电设备包含凿岩设备、电动铲运机、胶带运输机破碎机、水泵、风机、振动放矿机等, 由于井下辅扇主要是采用抽出式布置, 风机对风流做功, 使得风流内能增加主要发生在无人作业的回风侧, 而研究通风热负荷的目的主要是针对有人作业环境, 故此处未计算风机热负荷。

$$q_j = PE - mgh \quad (\text{A.6})$$

式中:

q_j —机电设备放热量, kW ;

P —输入功率, kW ;

E —设备总效率, %;

m —物料质量, kg ;

h—增加高度，m。

A.4 柴油设备放热计算

柴油设备放热量是同功率电动设备的 2.8 倍，其热量的 1/3 以辐射的形式散发，1/3 以烟的形式排出，1/3 作为有用功，但最终也转化成热量。

$$q_D = FEC \quad (\text{A.7})$$

式中：

q_D —柴油设备放热量，kW；

F—油耗，L/s；

E—燃烧效率，%；

C—柴油热值，34000kJ/L。

根据换算，式 A.0.4-1 可转换为：

$$q_D = 2.8PE \quad (\text{A.8})$$

式中：

P—柴油设备功率，kW。

A.5 矿堆放热计算

被爆的岩石温度一般低于原岩温度，被爆岩石对空气放热量，应按下式计算：

$$q_m = mC_p(VRT - t_d) \quad (\text{A.9})$$

式中：

q_m —矿堆放热量，kW；

m—单位时间爆破的岩石量，kg/s；

C_p —岩石比热，kJ/kg℃；

t_d —爆破后矿堆温度，℃；

VRT—原岩温度，℃。

A.6 地下水放热计算

地下水包含井下涌水和生产水，生产水温度一般比原岩温度低，起到冷却的作用。地下裂隙涌水对井下放热量，应按下式计算：

$$q_w = mC_0(VRT - t_d) \quad (\text{A.10})$$

式中：

q_w —地下水放热量，kW；

m—涌水量，kg/s；

C_0 —水比热, $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$, 取 $C_0=4.19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$;

t_d —进入排水系统后水温, $^\circ\text{C}$;

VRT—裂隙水温度 (近似原岩温度), $^\circ\text{C}$ 。

A.7 充填体水泥水化热计算

现行矿山一般都采用胶结充填开采, 胶结充填材料的放热主要为水泥的水化放热, 充填放热可用下式计算:

$$q_c = m_c Q_s \quad (\text{A.11})$$

式中:

q_c —充填体水泥水化放热量, kW ;

m_c —充填过程所需要的水泥量, kg/s ;

Q_s —单位质量水泥水化最终放热量, kJ/kg 。通常按水泥种类取值为 $200\sim 500 \text{ kJ/kg}$ 。

A.8 矿石氧化放热计算

高硫矿山或含硫量较大矿山, 其矿石氧化放热不容忽视, 可按如下公式计算:

$$q_0 = PLK_0 / 3600 \quad (\text{A.12})$$

式中:

q_0 —氧化散热量, kW ;

K_0 —氧化散热系数, kJ/hm^2 。一般硫化矿床, 矿石含硫 $15\%\sim 18\%$ 的工作面, 氧化不均匀时, K_0

为 70; 氧化严重时, K_0 为 225; 无氧化时, K_0 为 0;

P 、 L —分别为巷道周长和长度, m 。

附录 B

(资料性)

水分蒸发从岩壁吸热量计算

B.1 潮湿井巷的壁面水分蒸发量和吸热，可按如下方法计算：

a) 潮湿井巷的壁面水分蒸发量

井巷壁面的潮湿程度和散湿强度可以用湿度系数 f 表征，其定义为：部分湿润井巷的壁面实际的水分蒸发量与假设巷道壁面完全湿润时的水分蒸发量的比值。

潮湿井巷的壁面水分蒸发量 Δd 计算公式为：

$$\Delta d = f \frac{\alpha}{\gamma} (t - t_s) UL \frac{P}{P_0} \quad (\text{B.1})$$

式中：

f —湿度系数，采用实测或者实验数据。对于壁面看上去干燥，底板无积水的巷道，其湿度系数分布在 0.01~0.06 范围内；对于底板有少量积水的巷道，湿度系数在 0.06~0.1 左右；

γ —水蒸气的汽化潜热，2500 kJ/kg；

t —巷道中风流的平均温度，℃；

t_s —巷道中风流的平均湿球温度，℃；

U —巷道周长，m；

L —巷道长度，m；

P —风流的压力，Pa；

P_0 —标准大气压力，101325Pa，

α —井巷壁面与风流的对流换热系数，(kW/m² ·℃)

当井下风流中相对湿度为 80~90%，所以近似取 $(t - t_s) = 2^\circ\text{C}$ ，上述公式可简化为：

$$\Delta d = 7.90 \times 10^{-6} \alpha ULP \quad (\text{B.2})$$

其中，对流换热系数 α 计算公式如下：

$$\alpha = 2.728 \times 10^{-3} \varepsilon_m V_b^{0.8} \quad (\text{B.3})$$

式中：

V_b —巷道中平均风速，m/s；

ε_m —巷道壁面粗糙度系数，经验数据如下：

光滑壁面 $\varepsilon_m = 1$ ；

主要运输大巷 $\varepsilon_m = 1.00 \sim 1.65$ ；

运输平巷 $\varepsilon_m = 1.65 \sim 2.5$ ；

工作面 $\varepsilon_m = 2.5 \sim 3.1$ 。

b) 潮湿井巷表面水分蒸发从岩壁中的吸热量公式为:

$$q = 2500 \ kG \ \Delta d \quad (\text{B.4})$$

式中:

2500—水分的汽化潜热;

G —井巷通风质量流量, kg/s;

Δd —空气进、出潮湿井巷表面的水分蒸发增量, kg/kg;

k —井巷水分蒸发从岩壁中的吸热比例, 一般根据岩壁温度和空气干球及湿球温度的相对高低取值:

(1) 当空气干球温度高于岩壁温度, 湿球温度低于岩壁温度时, 水分蒸发将同时从岩壁和周边空气中吸收热量; k 一般取 0.3~0.6;

(2) 当空气湿球温度高于岩壁温度时, 水分蒸发基本从周边空气中吸收热量; k 一般取 0.1~0.2;

(3) 当空气干球温度小于岩壁温度时, 水分蒸发基本从巷岩壁吸收热量, k 一般取 0.8~0.9。

B.2 热力平衡公式如下:

$$1.005(t_2 - t_1) + 2500(D_2 - D_1) + 1.842(t_2 - t_1)(D_2 - D_1) = \frac{\Sigma Q_t}{G} \quad (\text{B.5})$$

式中:

t_1, t_2 —井巷始末端的空气温度, °C;

D_1, D_2 —井巷始末端的空气含湿量, kg/kg;

G —井巷空气流量, kg/s;

ΣQ_t —井巷散热和水分蒸发从岩壁中吸热量总和, kW;

1.005—空气等压比热, kJ/kg°C;

2500—水的气化潜热, kJ/kg;

1.842—水蒸汽等压比热, kJ/kg°C。

注: 由于井巷末端的空气温度、含湿量和井巷的散热和吸热量总和存在耦合关系。可采用试算法: 先假设井巷末端的空气温度和含湿量的初值, 代入附件公式 A.1.1 和附录公式 B.4, 公式 5.3.3 中, 经多次迭代, 当迭代的前、后两次的数值差满足工程计算所需的精度 (如 3%) 时, 可停止迭代, 确定终值。

附录 C

(资料性)

机械制冷降温系统负荷计算

C.1 集中式制冷降温系统的新风冷负荷计算公式为：

$$q_x = G_x (h_o - h_i) \quad (C.1)$$

式中：

 q_x —新风冷负荷，kW； G_x —新风量，kg/s； h_o —新风焓值，kJ/kg； h_i —井下作业地点的设计空气焓值，kJ/kg，应考虑井下大气压修正；

其中，新风状态点宜取矿山地表夏季通风计算参数。

C.2 井下工作面或机电设备硐室（简称：工作场所）制冷降温送风空气参数，应根据送风方式的不同，分别按式（B.2）和式（B.3）计算：

a) 工作场所不设空冷器时，由集中冷源处冷却的冷空气直接送入工作场所：

$$h_1 = h_2 - \frac{Q_j}{G_j} \quad (C.2)$$

式中：

 Q_j —采掘工作面或机电设备硐室的冷负荷，kW； G_j —进入采掘工作面或机电设备硐室的风量，kg/s； h_1 —进入采掘工作面或机电设备硐室的空气焓值，kJ/kg； h_2 —离开采掘工作面或机电设备硐室的空气焓值，kJ/kg。

b) 工作场所设空冷器时，风流经空冷器冷却后，送入工作场所：

$$h_s = h_1 - \frac{G_j \times (h_1 - h_2) + Q_j}{G_s} \quad (C.3)$$

式中

 h_s —空冷器的送风焓值，kJ/kg； Q_j —采掘工作面或机电设备硐室的冷负荷，kW； G_j —采掘工作面或机电设备硐室的风量，kg/s； G_s —空冷器的风量，kg/s； h_1 —进入采掘工作面或机电设备硐室的空气焓值，kJ/kg； h_2 —离开采掘工作面或机电设备硐室的空气焓值，kJ/kg。

附录 D

(资料性)
热负荷计算参数表

D.1 部分岩石热物理性质见表 D.1。

表 D.1 部分岩石热物理性质表

| 矿岩名称 | 导热系数λ kJ/ (mh•℃) | 岩石比热 C kJ/ (kg•℃) | 比重γ _g kg/m ³ |
|-------|---------------------|----------------------|---------------------------------------|
| 中粒砂岩 | 9.80 | 0.883 | 2640 |
| 灰岩 | 7.91 | 0.913 | 2721 |
| 白云质灰岩 | 11.18 | 0.921 | 2709 |
| 石英岩 | 14.95 | 0.888 | 2880 |
| 正长斑岩 | 7.54 | 0.85 | 2580 |
| 花岗岩 | 8.08 | 0.909 | 2780 |
| 花岗闪长岩 | 7.16 | 1.047 | 2690 |
| 蛇纹岩 | 6.69 | 0.95 | 2690 |
| 辉绿岩 | 8.33 | 0.787 | 2010 |
| 玄武岩 | 6.03 | 0.888 | 2860 |
| 片麻岩 | 9.96 | 0.816 | 2720 |
| 泥灰岩 | 9.96 | 0.917 | 2630 |
| 泥质页岩 | 3.35 | 0.992 | 2433 |
| 铁矿石 | 19.26 | 0.724 | 4538 |
| 黄铁矿 | 12.1 | 0.607 | 4084 |
| 硫化矿 | 15.07 | 0.896 | 4660 |
| 铜矿石 | 15.14 | 0.871 | 4688 |

注：上表摘自《采矿设计手册·矿山开采卷》表 2-16-27。

D.2 我国部分地区恒温带见表 D.2。

表 D.2 我国部分地区恒温带表

| 地区 | 北纬 | 恒温带 | | 多年平均气温 /℃ | 地面平均温度 /℃ |
|-------|--------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|
| | | h _a /m | t _a /℃ | | |
| 辽宁抚顺 | 41°50' | 20~30 | 10.5 | 7.4 | 8.3 |
| 辽宁营口 | 40°39' | 20~30 | 10.0 | | |
| 河北怀来 | 40°21' | 14 | 9.0 | 8.5 | 10.6 |
| 河北唐山 | 39°38' | 35 | 12.7 | 10.7 | 12.9 |
| 天津 | 39°10' | 32 | 13.6 | 12.8 | 13.5 |
| 河北雄县 | 38°58' | 15 | 13.9 | | |
| 山东东营 | 37°27' | 20 | 14.5 | 12.5 | 14.9 |
| 河南新郑 | 34°40' | 19 | 16.5 | | |
| 陕西蓝田 | 34°10' | 20 | 16.6 | 13.5 | |
| 河南平顶山 | 33°46' | 20~15 | 17.2 | 14.8 | 16.9 |
| 河南确山 | 32°56' | 20 | 17 | | |
| 安徽淮南 | 32°40' | 20~15 | 16.8 | 15.5 | |
| 安徽庐江 | 31°00' | 25 | 18.9 | 15 | |
| 广西合山 | 23°53' | 20 | 23.0 | 20.8 | |
| 湛江 | 21°15' | 15 | 16.0 | 23 | 26.1 |
| 枣庄 | 34°52' | 40 | 13.6 | | |
| 徐州 | 34°15' | 25 | 17.0 | 14 | 15.1 |
| 唐口矿 | 35°25' | 60 | 16.5 | 13.6 | 18 |
| 龙固矿 | 35°25' | 50 | 16.5 | 14.1 | 18 |

注：以上摘自杨德源、杨天鸿编著的《矿井热环境及其控制》表 2-15，冶金工业出版社，2009 年。

D.3 我国地温率统计表见表 D.3。

表 D.3 我国地温率统计表

| 地区 | | 一般地温 梯度 ℃/100m | 最高地温 梯度 ℃/100m | 平均地温 梯度 ℃/100m | 特征 |
|--------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|
| 东北松辽盆地 | | 3.5~4.0 | 6.0 | 3.4 | 松辽盆地边缘的地温梯度为 2.5~3.0 |
| 华北盆地 | | 3.2~3.5 | 7.0 | 3.0 | 多呈北北东方向条带状低、高、低分布 |
| 东南沿海地区 | 浙、闽、粤等省区 | 2.5~3.5 | | 3.0 | |
| | 温州、大浦、广州一线以东 | 3.0 | 3.3 | | 异常区的地温梯度可达 6.0~7.0℃ /100m |
| 鄱阳、洞庭（包括汉江）、南阳、三水及白色等中小型盆地 | | 3.0 | 4.0 | 3.0 | |
| 大兴安岭、太行山、巫山、武夷山、武陵山、雪峰山及大瑶山等山区 | | ≤2.0 | | 1.5 | 除受构造控制热水对流形成的局部高地温梯度外 |
| 滇东、黔，桂地区 | | 2.0~2.5 | | 2.0 | |
| 南盘江、百色、南宁等盆地 | | ≥2.5 | | | |
| 昆明—六盘水一带往四川盆地 | | 2.5~3.0 | | 2.7 | 中部山区的地温梯度均低于 1.5~2.0℃ /100m |
| 滇、川地区的西部石棉、西昌、渡口一带 | | 1.5~2.5 | 3.0 | - | 地温梯度陡变带 |
| 沿雅鲁藏布江向东延至腾冲—景谷 | | 2.5~3.0 | 5.0~7.0 | | 高山区的地温梯度通常大都低于 1.5℃ / 100m |
| 藏北高原 | | 2.5~3.0 | 3.5~4.0 | | |
| 青藏高原的共弛地区与云南西部的三江地区 | | ≤1.5 | | | |
| 兰州-西宁地区 | | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | | |
| 青海柴达木盆地及河西走廊地区 | | 2.5~3.0 | 3.0~3.5 | | |
| 新疆地区的塔里木盆地 | | 1.5~2.5 | 2.5~3.0 | 1.98 | 由盆地向其外围逐渐降低，除局部热异常区外，其地温梯度平均<1.5℃ / 100m |
| 新疆地区的准噶尔盆地 | | 1.5~2.5 | 2.5~3.0 | 1.76 | |

注：以上根据《中国地温分布的基本特征》统计得出的数据，具体地点需要结合实际情况分析。