

地层冻结技术的发展现状与展望

李 功 洲

(煤炭科学研究总院 北京建井研究所, 北京 100013)

摘 要: 综合论述了我国自 1955 年应用冻结法凿井技术以来, 冻结孔钻进、测斜、纠偏技术, 冻结壁设计与监控技术, 井壁结构设计与施工技术以及地层冻结技术在市政及基础工程中的应用技术发展过程和技术现状。展望了今后地层冻结技术研究发展方向。

关键词: (冻结技术; 发展现状; 展望)

冻结法凿井于 1955 年首次在我国开滦林西煤矿风井使用获得成功以来, 成为我国矿井通过冲积层的主要施工方法, 开凿了 400 多个立井井筒和 7 个斜井井筒, 冻结总长度超过 70 km, 立井冻结最大深度为 435 m (河南永夏矿区陈四楼副井), 穿过的最大冲积层厚度为 383.1 m (山东金桥副井)^[1~3], 基本解决了 500 m 深井冻结技术问题, 系统掌握了 500 m 深冻结井的冻结孔钻进、测斜与纠偏技术, 冻土物理力学性能, 冻结壁设计, 冻结工艺, 井壁设计以及冻结壁形成实测、监控、预报和井壁位移实测与监控等技术。

1987 年将冻结法应用于东海拉尔水泥厂卸矿室及斜皮带走廊联合地下基础工程取得了成功^[5]。之后, 逐渐被广泛应用于我国的上海、北京、广州地铁工程和市政基础等 10 多项工程建设中, 成功地完成北京复八线地铁大北窑段流砂层水平冻结、上海地铁 1 号线 2 个联络通道和 2 号线 4 个联络通道等地下复杂形状硐室近水平冻结工程, 基本掌握了近水平冻结的设计方法、施工方法、地层变形控制方法, 积累了大量资料和经验。

1 发展现状

1.1 井筒冻结施工技术

(1) 冻结孔的钻、测、纠技术

1983 年成功研制出 DZJ500-1000 冻结注浆两用钻机, 并得到广泛应用, 目前成为深井冻结钻孔施工主型钻机, 可满足冻深 500 m 冻结钻孔钻进施工。

从 1965 年开始研制陀螺测斜仪, 1984 年研制成功第 2 代 JDG-3A 型陀螺测斜仪, 1987 年、1993 年又分别研制成功 JDT-5、JDT-6 型陀螺测斜仪, 可实现连续测量、自动记录、计算机瞬时显示、计算打印, 测量精度达 3' (顶角 0~10°), 静漂 $\leq 0.1(^{\circ})/h$ 。

1994 年成功地开发出定向钻进技术。采用 DYZ-90 型“模诺”井下动力钻具和配套钻机控制软件, 配合 DZJ500-1000 冻结注浆两用钻机可实现定向纠偏和定向钻进。

1990 年研制成功 CS-80L 深井冻结专用管材。其特点是强度高, 冷脆温度转化点低于 -40℃, 冲击

韧性好 (常温下 $\alpha_k \geq 90 \text{ J/cm}^2$, -40°C 下 $\alpha_k \geq 60 \text{ J/cm}^2$)。采用偏梯形螺纹接箍比锥型螺纹接箍抗渗能力提高 33%, 抗弯强度提高 43%, 抗渗漏挠度增大 26.5%, 抗滑脱能力提高 25% 以上。CS-80L 冻结管材首次应用于我国冻结深度最大 (435 m) 的冻结井——陈四楼矿副井, 从打钻到凿砌通过冻结段历时 24 个月未出现冻结管断裂, 满足了冲积层厚 400 m, 冻深 500 m 对冻结管材的要求^[1]。

(2) 冻结壁设计与监控技术

人工冻土特性的研究及应用 早期冻土物理力学参数主要参考原苏联的资料。国内于 1978 年开始对冻结物理力学性质进行了系统研究工作; 上个世纪 80 年代研制成 FSG-1 型三轴冻土试验机及 FP-1 型冻胀仪, 完成了常规土工、无侧限抗压、三轴剪切、蠕变冻胀及导热性能的综合研究, 对我国冻结法凿井主要地区土层的冻土力学特性有了全面的认识。制定了 7 项人工冻土试验行业标准, 为冻结设计提供了大量有用的数据。1994 年研制成功 TYJ-200 负温高压三轴试验机, 围压可达 12 MPa, 轴力 200 kN, 可满足冻深 700 m 以内低温 ($< -35^\circ\text{C}$) 冻土试验的需要, 该机具备自制冷、电液伺服控制, 可进行位移、负荷和应力 3 种控制方式及冻土的固结试验, 为国内最先进的动土专用试验机之一。

制冷、冻结工艺 1963 年成功应用了串联双级压缩制冷系统, 解决了以前氨压缩机单级压缩制冷在高气温、高水温条件下不能运转的困难。1980 年研制成功并应用了移动式制冷机组, 解决了窄小范围开展冻结施工的困难。

选择适宜的冻结工艺是提高冻结效果, 降低冻结成本的重要途径。除一次冻全深外, 成功应用了差异冻结、局部冻结、分段或分期冻结、双供液管冻结、单圈主冻结孔加辅助孔冻结、双圈孔冻结工艺, 积累了大量试验实测资料, 为不同地层、不同冻结目的、不同掘砌工艺等施工条件选择适宜的冻结方案提供依据。

冻结壁设计与监控 冻结壁设计包括冻结壁的温度状况及厚度计算。冻结壁厚度计算既要满足强度要求, 又要满足变形条件的要求。基本方法是首先确定冻结壁设计平均温度, 再以冲积层最深的砂性土层的地压计算冻结壁厚度, 并以深部厚黏土层验算安全掘进段高。

深井冻结壁厚度计算公式基本采用无限长圆筒的弹塑性理论公式, 如多姆克公式是根据试验和无限长厚壁筒第三强度 (最大剪应力) 理论推导, 即

$$\delta = R \left[0.29 \left(\frac{P}{K} \right) + 2.3 \left(\frac{P}{K} \right)^2 \right],$$

式中, δ 为冻结壁厚度, m; R 为井筒掘进半径, m; P 为控制地层压力, MPa; K 为冻土计算强度, MPa。

平均温度按《建井工程手册》推荐的成冰公式计算, 即

$$t_c = t_b (1.135 - 0.352 \sqrt{l} - 0.785 \frac{1}{\sqrt{\delta}} + 0.266 \sqrt{\frac{l}{\delta}} - 0.466 + \Delta t_n),$$

式中, t_c 为按有效厚度计算的冻结壁有效平均温度, $^\circ\text{C}$; t_b 为盐水温度, $^\circ\text{C}$; l 为冻结孔间距, m; t_n 为井帮冻土温度, $^\circ\text{C}$; Δ 为井帮冻土温度每升降 1°C 时对冻结壁有效平均温度的影响系数, 一般为 0.25 ~ 0.30。

变形条件一般是验算冻结壁安全掘进段高, 通常采用维亚洛夫-扎列茨基公式计算, 即

$$h = \delta \sigma_s / \eta p,$$

式中, h 为安全掘进段高, m; σ_s 为冻土持久抗压强度, MPa; p 为稳定性控制地层的压力, MPa; η 为工作面冻结状态系数, 即工作面未冻结时取 $\sqrt{3}$, 工作面冻实时取 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。

根据计算的冻结壁厚度确定冻结孔布置圈直径, 根据潘谢矿区深厚冲积层试验实测结果提出的不同冻结孔的布置圈直径公式为

$$D_\phi = D_1 + 2(0.55\delta + \theta H),$$

$$D_2 = D_1 + 2(0.55\delta + \theta H) + \Delta_f,$$

$$D_f = D_1 + 2(0.3L_n + \theta H_f),$$

式中： D_1 为单圈孔冻结时的冻结孔布置圈直径，m； D_2 为双圈孔冻结时主冻结孔布置圈直径，m； D_f 为辅助冻结孔的布置圈直径，m； H ， H_f 为主冻结孔、辅助冻结孔的深度，m； θ 为冲积层内冻结孔允许偏斜率，%； L_n 为主冻结孔至井帮的距离，m； Δ_f 为主冻结孔布置圈直径附加值，取 1（冻深 300 m 时）～2 m（冻深 500 m 时）。

如何实现设计的冻结壁厚度和冻结壁有效平均温度，在冻结施工过程中，加强冻结过程中的盐水流量、冻结壁发展状况、冻结壁变形的监控，对冻结壁安全有效的实施具有重要意义。我国科研人员通过对邢台、潘谢、徐沛、永夏、东荣等矿区十几个深井冻结壁形成实测和理论研究，基本掌握单圈孔、单圈孔加辅助孔、双圈孔冻结的冻结壁形成规律及其特性，有效地掌握了不同地层、不同冻结孔间距、盐水温度、原始地温的冻结壁交圈时间、冻结壁厚度增长特性、冻结壁内外侧厚度及有效厚度变化特性以及冻结壁的扩展速度、冻结壁平均温度的变化规律，进行了较为深入的研究^[6]。并综合应用这些成果实现对未开挖段冻结壁发展状况进行预测预报，为制定冻结、施工措施提供科学依据，并成功地在陈四楼矿主、副井深井冻结施工中得到应用。

掘砌过程中对冻结壁位移进行实测，有效地掌握冻结壁的变形规律、冻结壁发展状况和掘砌工艺对冻结壁变形的影响，制定出安全经济的掘砌措施，把冻结壁位移控制在允许范围内，是防止冻结管断裂的重要措施之一。

国内科技人员根据试验和现场实测^[2,7~10]，研究了冻土蠕变、掘砌段高、掘砌动态、井壁结构形式对冻结壁、冻结管位移和稳定性的影响，提出冻结压力和冻结壁允许变形的计算方法，对深井冻结壁位移监控、指导施工具有重要指导意义。

1963 年研制用简易铜—康铜热电偶代替了落后的传统测温方法，上个世纪 80 年代研制成功 DSC-1 型冻结壁超声波检测仪及 CWD-3 型冻结壁温度采集与处理装置。

1985 年首次采用有限元数值计算方法模拟冻结井掘砌过程动态和冻结壁扩展、冻结壁温度场和掘砌工艺对冻结壁受力和变形的影响，为有限元数值模拟技术发展开辟新的领域。

1990 年成功研制应用一台流量计和一圈检测辅助管分别检测每个冻结器的盐水流量方法，系统简单，检测简便，能监控每个冻结器的盐水流量，得到广泛应用。

(3) 井壁结构设计施工技术

井壁结构型式 井壁结构可概括为单层井壁、双层井壁和夹层井壁 3 种结构型式，基本筑壁材料为混凝土和钢筋混凝土，井壁荷载的计算原则见表 1。

单层井壁是我国冻结井筒最早采用的井壁结构型式，1955 年至 1963 年施工的立井井筒全部采用单层

表 1 冻结段井壁计算荷载的确定原则

井壁类型	荷载的计算原则
单层井壁	井筒掘砌过程中承受冻结压力，冻结壁解冻后承受土压和水压
外层	① 井筒掘砌过程承受冻结压力；② 冻结壁解冻后与内层井壁共同承受土压和水压，承受荷载的比例为内、外层井壁强度之比
双层井壁	① 与外层井壁共同承受土压和水压，承受荷载的分数为其强度占内外壁总强度的百分数。为了达到内外层井壁共同受力的目的，二者的间隙要灌注水泥浆填实；② 与外层井壁隔水性能很差时，则内层井壁应承受全部水压
外层	只起临时支护的作用，在井筒掘砌过程中承受冻结压力，冻结壁解冻后只承受土压
夹层井壁	内层 承受全部水压
夹层	只起隔水和滑动层作用以减少内层井壁混凝土收缩裂缝，不作力学计算

井壁, 其中除 1955 年波兰帮助施工的林西风井为钢砖井壁和壁后充填混凝土外, 其余均为混凝土和钢筋混凝土单层井壁。

双层井壁于 1964 年首次在邢台主井试验应用, 1966 年后便逐渐成为冻结井筒井壁的主要结构型式。

夹层井壁是指在双层井壁之间增设塑料、沥青、钢板等夹层, 国内主要采用塑料夹层井壁, 于 1964 年在朔里副井试验取得了初步成功, 1978 年在潘二副井和潘二西风井推广应用后, 便逐渐成为深井冻结井壁的主要结构型式之一。1985 年又研究成功了沥青钢板混凝土井壁。

1994 年试验成功防裂密实混凝土井壁, 其作用机理是在克服内层井壁混凝土收缩裂缝和提高混凝土密实性、抗渗性的基础上, 使内、外层井壁紧密结合成整体, 达到提高井壁的整体强度和防水性。防裂密实混凝土既能克服收缩裂缝, 又能提高混凝土的密实性和抗渗性, 取消塑料夹层, 并能使新浇筑的混凝土与外层井壁或围岩紧密地结合成整体, 提高井壁的整体强度和封水性能, 是一种较有发展前途的矿井井壁和井下硐室混凝土支护封水措施。

施工工艺与监控技术 冻结段井壁结构的基本形式为双层井壁, 施工工艺基本推行短段掘砌一次套壁, 即将井壁设计总厚度分为内、外两层, 外层井壁(含单层井壁)自上而下短段掘砌, 主要采用整体下移式金属组合模板, 当外层井壁掘砌至要求深度砌筑生根壁座后自下而上浇注内层井壁。塑料夹层井壁与双层井壁的施工工艺基本相同, 塑料夹层超前套壁混凝土浇筑面 1~2 m 设置。1975 年试验成功液压滑模套壁新工艺, 使内层井壁实现了连续套壁, 消灭了施工缝。1964 年曾在邢台主井试验短段掘砌分段(100~150 m)套壁工艺, 1990 年又在邱集主、副井深厚黏土层中试验应用短段掘砌中段(30~50 m)套壁工艺。

上个世纪 70 年代试验成功用于冻结井的钢铰式土压计(量程 1.5~4.0 MPa)、钢筋应力计($\phi 16 \sim 32$ mm)及混凝土应变计和位移计(量程 25 mm), 用于井壁应力、发展规律实测研究, 积累了大量资料, 为我国井壁的不断改进提供了大量有用的数据。1989 年中德两国合作在陈四楼矿主、副井进行《深厚冲积层冻结测试技术》的研究, 对冻结器的盐水温度和流量、冻结壁的形成和位移、外层井壁位移等进行综合实测, 较为系统地掌握深厚黏土层冻结壁形成和冻结壁位移特性, 掌握现浇混凝土外加可收缩外层井壁位移特性和位移持续时间, 确定合理的掘砌段高(2.2~2.6 m)和掘砌循环时间(≤ 36 h), 有效地控制冻结壁位移 ≤ 50 mm, 实现两井共 858 m 冻结段, 无断管、无井壁压坏的全国记录。

针对徐州、大屯、淮北矿区 25 个左右冻结井壁在成井若干年后的破坏情况, 科研人员对破坏原因和防治措施进行了积极研究, 对井壁结构提出了许多积极的研究成果和建议。

1.2 市政及基础工程应用

冻结法作为一种成熟的工法, 广泛用于冻结立井和斜井工程。在我国市政基础建设和地铁隧道工程中得到了推广应用, 上个世纪 70 年代冻结法首次应用于北京地铁建设工程中, 冻结垂深 28 m, 长度 90 m。1987 年将冻结法应用于东海拉尔水泥厂卸矿室(方断面 10 m \times 11.2 m, 深 14 m)斜皮带走廊(倾角 7~14°, 截面 5.4 m \times 4 m, 最深 11.4 m, 水平长度 31 m)联合地下基础工程。之后, 岩层冻结技术被广泛应用于我国的上海、北京、广州地铁工程和市政基础等 10 多项工程建设中。北京中煤矿山工程有限公司 1993 年起先后成功的在上海地铁一号线 1 个泵站和 3 个联络通道、上海杨树浦水厂泵站基坑围护冻结、北京“复八”线地铁大北窑段区间隧道、上海地铁二号线杨一中路段、江一中路段、静一石路段、陆一河路段联络通道及黄浦江下联络通道、杨家渡端头井、上海市府人防通道、广州地铁二号线“纪念堂站”等多项市政工程中应用冻结工法, 基本掌握了近水平冻结的设计方法、施工方法、冻胀融沉规律和地层变形控制方法, 积累了丰富经验和大量有用的资料。

人工地层冻结技术主要采用氨或氟里昂压缩制冷, 盐水冻结。此外, 还研究了液氮冻结技术, 并于 1992 年在上海地铁隧道工程中初次使用, 与常规氨-盐水冻结配合, 实现 520 m³ 的长方形土体冻结, 还多次成功地将液氮冻结应用于市政工程的抢险补救。

2 展 望

冻结法适宜于深厚冲积层和含水层地层立井、斜井井筒施工, 以及松软地层的隧道、地铁和地铁车

站、排水泵房、地铁主干道间的联系通道、盾构施工的端头井施工,有着广阔的应用经济前景。特别是近年来,我国北京、上海、广州、天津等城市地铁建设,以及将陆续兴建的南京、深圳等16个大城市地下快速交通线路建设,为地层冻结开辟了广阔的前景。系统总结和发展已取得的理论研究成果和施工实践经验,对推动冻结法更加经济安全可靠的应用,拓宽冻结法应用领域具有长远的意义。今后应着重超深井($>500\text{ m}$)冻结施工技术及长距离水平冻结、深基坑冻结加固理论和施工技术的研究,摸索人工地层冻结对采矿深部降温理论及技术应用,以满足我国开发冲积层厚达 600 m 的巨野矿区建设、深井开采需要及大城市地下工程建设需要。冻结法应用于地下隧道及地铁施工,可实现不影响地面建筑,甚至可在原有一条地铁下面再修一条新的地铁快车线。近期内岩层冻结技术需开展以下方面的研究^[2,4,11]。

(1) 超深冻结孔钻进、测斜、纠偏技术综合研究。研制或改进现有强力钻机,满足钻造 $1\,000\text{ m}$ 深冻结钻孔需求,实现钻进效率 $2\,000\text{ m}/(\text{台}\cdot\text{月})$ 以上,实现测斜参数和定向工艺参数的测试、采集、显示智能化。研制超深井冻结的冻结管材及冻结器接头型式。研究长距离($>80\text{ m}$)水平冻结钻孔钻进钻机,开发水平钻孔测斜、纠偏技术。研究高效节能的水平冻结方案。

(2) 系统研究人工冻土物理力学参数。利用先进的和新的测量技术,开展详细的、系统的冻土微宏观力学实验研究,并在实验基础上进行理论分析的同时,加强基于测试结果的理论建模工作,建立工程实用模型。以往人工冻土的研究主要局限于土层在特定低温条件下,冻土单轴抗压、三轴剪切强度、破坏应变等特征^[12];土样多是地质检查孔取土后“重塑”试验结果;对不同地区、不同层位、不同类型的黏土等试验结果不一致的方面进行了简单处理,并试图用单一本构关系式涵盖我国人工冻结黏土本构关系,显然忽视了不同地区、不同深度冻结黏土层本构关系的差异。今后应加强原始状态(包括原始应力状态、未扰动、原始组成、原始结构、温度状态)冻土物理力学性质测试手段和理论研究;特别是在原始状态下冻土的结构强度,应注重不同应力路线的力学行为;荷载变化条件下冻土的物理力学性质;注重不同地区特殊地层冻土物理力学性能的异同;建立冻土结构性模型和相应的分析理论——逐渐破损理论;注重研究冻胀理论及冻胀控制方法,研究冻土融解沉降规律及控制方法,以满足不同周边环境、地界条件状况下冻结法的应用。研究岩层冻结对环境的影响,包括岩层冻胀融沉对周围工程建筑物、珍贵植物的影响等。

(3) 超深井冻结工艺和冻结壁设计研究。与传统的设计方法相比,冻结壁设计应考虑冻结壁整体强度的不均匀性;考虑冻结壁是一个变化的温度场特征;考虑冻结壁稳定、冻结壁位移设计;要考虑到支护条件(结构、施工工艺)对冻结壁稳定性、冻结壁位移的影响。研究冻结壁卸载—支护过程中荷载变化状态下冻结壁强度、位移变化特性;考虑掘砌时间、掘砌工艺时冻结壁厚度动态设计方法。实现冻结、开挖过程模拟仿真。研究超深基坑冻土墙设计、大直径冻土环设计理论及信息化施工技术。

(4) 发展现场综合实测技术。工程测试是检验理论分析合理性的重要手段,也是完善发展理论分析的依据。现有许多计算参数来自于实测。全面系统实测对冻结经济合理设计、安全快速施工具有重要意义。实测系统包括:冻结站工况检测与控制技术;冻结壁温度场(包括冻结壁形成、自然解冻、人工解冻规律)实测、预测、预报与控制技术;冻结壁位移实测及控制技术;外层井壁位移实测及控制技术;冻结土层作用于构筑物的压力变化规律;冻结土体原始应力场测试技术;冻结管在冻结过程中及掘砌过程中的应力、位移变化规律。根据实测结果进行冻结、掘砌过程中的各种信息反分析,根据分析结果指导设计、施工。

(5) 加强冻结壁温度场理论与应用技术研究。加强冻结壁温度场理论研究,特别是利用已有实测结果进行理论分析,运用有限元等数值方法进行模拟仿真分析,实现可视化、智能化,对冻结壁发展状况进行预测预报,实现有效控制。

(6) 超深冻结井井壁材料、结构设计、施工工艺的研究。研究新型井壁材料、结构。从工艺上满足深井施工要求,满足承受冻结压力、有效控制冻结壁位移以及不均匀受压的要求,防止因冻结壁位移过大导致冻结管断裂。注重原始地层与冻结壁、冻结壁与外层井壁、外层井壁与内层井壁结构的共同作用,利用现代计算技术和计算机技术,研究解决原始地层、冻结壁、井壁相互作用的实用本构模型及其界面间相互作用的合理模拟,为选择合理的井壁结构、施工工艺提供依据。

参考文献:

- [1] 陈文豹, 邓文芳, 张希贤. 陈四楼矿深厚冲积层冻结凿井技术. 地层冻结工程技术和应用——中国地层冻结工程 40 周年论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 1995. 363~369.
- [2] 陈湘生. 对深冻结井几个关键问题的探讨. 煤炭科学技术, 1999, 27 (1): 36~38.
- [3] 虞相, 王正廷, 苏立凡. 我国地层冻结技术的新发展. 地层冻结工程技术和应用——中国地层冻结工程 40 周年论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 1995. 11~16.
- [4] 陈瑞杰, 程国栋, 李述训, 等. 人工地层冻结应用研究进展和展望. 岩土工程学报, 2000 (1).
- [5] 汤志斌, 陈文豹. 地下过程结构物冻结施工. 地层冻结工程技术和应用——中国地层冻结工程 40 周年论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 1995. 451~453.
- [6] 汤志斌, 陈文豹, 李功洲. 冻结壁温度的实测研究及在工程中的应用. 地层冻结工程技术和应用——中国地层冻结工程 40 周年论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 1995. 192~198.
- [7] 李功洲. 深井冻结壁位移实测研究. 煤炭学报, 1995, 20 (1): 99~104.
- [8] 李功洲, 陈文豹. 陈四楼主、副井冻结段外层井壁位移实测研究. 煤炭学报, 1995, 20 (4): 403~407.
- [9] 李功洲, 陈文豹, 熊翼翔. 冻结壁受力和变形分析——位移反分析法. 第一届全国寒区环境与工程青年学术会议论文集. 甘肃: 兰州大学出版社, 1994. 112~117.
- [10] 李功洲. 基于弹性基础梁理论的冻结壁和冻结管变形与受力分析. 煤炭学报, 2001, 26 (3): 258~264.
- [11] 龚晓南. 21 世纪岩土工程发展展望. 岩土工程学报, 2000, 21 (2): 238~242.
- [12] 陈湘生, 徐兵壮. 我国人工冻土物理力学性质试验研究的现状和展望. 地层冻结工程技术和应用——中国地层冻结工程 40 周年论文集. 北京: 煤炭工业出版社, 1995. 85~87.

作者简介:

李功洲 (1964-), 男, 研究员, 1984 年毕业于中国矿业学院, 1991 年于煤炭科学研究总院北京建井研究所研究生毕业, 获工学硕士学位。长期从事深井冻结施工技术、混凝土及混凝土外加剂、建设监理等方面的研究工作。与他人合著《混凝土外加剂及其在工程中的应用》1 部, 发表论文 20 篇。现任北京建井研究所副所长, 北京中煤矿山工程有限公司副总经理, 中国土木工程学会混凝土外加剂专业委员会委员, 中国建筑材料工业协会混凝土外加剂分会理事。

Status and future of ground freezing technology development

LI Gong-zhou

(Beijing Research Institute of Mine Construction, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: The paper comprehensively introduced the technology development process and technology status of the ground freezing bore hole drilling, deviation detection and deviation correction technologies, the freezing wall design technology, the mine shaft lining design and construction technology, and the ground freezing technology is applied in urban construction projects and building foundation projects, since the application of the ground freezing technology in 1955. The paper reviewed the research and development tendency of the ground freezing technology in future.

Key words: ground freezing technology; development status; future

118