

现浇钢筋混凝土格构锚固结构研究应用现状及展望

马迎娟, 彭社琴

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘 要: 从现浇钢筋混凝土格构锚固结构的布置形式、对边坡加固的机理以及结构的计算方法几个方面介绍了该结构的研究和应用的现状, 并在此基础上对今后该种结构的研究方向做出展望。

关键词: 格构锚固结构; 格构梁; 锚杆(索) 计算方法

中图分类号: TU 375

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0116-03

Present Situation and Preview of Monolithic Reinforced Concrete Lattice Frame Anchor Structure

MA Ying-juan, PENG She-qin

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China)

Abstract: The research and application present situation of monolithic reinforced concrete lattice frame anchor structure are reviewed from the aspects of placement, reinforcement mechanics and calculation design. At last, several aspects which should be researched in the future are put forward.

Key words: lattice frame anchor structure; lattice beam; anchor rod or rope calculating method

现浇钢筋混凝土格构锚固是利用紧贴坡面的现浇钢筋混凝土格构梁及深入基岩或滑动面以下稳定地层中的锚杆(索)进行坡面防护或滑坡治理的一种有效措施。这种支挡加固措施已在日本等国广泛应用, 近几年在我国开始推广应用, 目前在三峡建设中大量应用此种支挡加固措施进行边坡的防治, 并制定了相应规范。该措施将整个护坡与支撑有机结合在一起, 不必开挖扰动边坡, 施工安全快速, 与植被恢复相结合可美化环境, 是一种经济、绿色、应用前景广阔的边坡支挡加固措施。

1 现浇钢筋混凝土格构锚固结构简介^[1~8]

现浇钢筋混凝土格构梁的型式可分为方型、菱形、人字型或弧型四种, 实际使用中多采用方型格构梁。方型、菱形格构梁水平间距应小于 5 m; 人字型、弧型格构梁水平间距应小于 4.5 m。格构梁断面一般为矩形, 尺寸介于 300 mm × 250 mm ~ 500 mm × 400 mm 之间。

为了保证格构的稳定性, 可在格构节点设置锚杆; 当边坡整体稳定性差或下滑力较大时, 应采用预应力锚索进行加固。锚杆(索)的深度和间距根据地质条件、边坡规模、可能的滑动深度及变形破坏形式来确定。锚杆(索)倾斜角度可根据边坡坡度和施工方便进行选择, 一般为 10°~35°。

现浇钢筋混凝土格构锚固结构的组合形式主要包括现浇钢筋混凝土格构梁与锚杆护坡复合结构和现浇钢筋混凝土格构梁与预应力锚索复合结构两种。两种复合结构中格构梁的作用主要有保护坡面表层土防止雨水剥蚀, 减小水流产生动能, 利用坡面雨水沿梁方向流走以及作为锚索锚墩增大节点作用面积等作用; 锚杆(索)主要作用有通过锚杆(索)孔的注浆提高岩土体的强度刚度和稳定性, 锚杆(索)穿过结构面使滑体得到挤压拉吊作用, 格构梁和锚杆(索)组成一跨跨的支护结构组合, 减少了支撑支护结构的跨度等作用。

2 国内外研究应用现状^[9~17]

现浇钢筋混凝土格构锚固技术最早在日本等国家开始应用, 近 10 年在我国被广泛应用于铁路、公路的边坡和路堤防护、边坡防治、挡墙和洞室加固等方面, 并取得了良好的效果。

现从两方面对该结构的研究现状进行阐述:

2.1 理论方面

由于目前我国对此类结构的理论研究相当有限, 所以迄今为止还没有一套定型的格构锚固计算模型和方法。目前对于格构锚固措施中的锚杆(索)的设计同单纯的锚杆(预应力锚索)支挡加固措施相同, 采用理论计算的方法, 即在测得岩

土体和支护结构力学参数的前提下, 根据岩土体力学特征建立数学模型, 计算确定支护参数。但是对于格构梁的受力计算, 却存在多种计算方法, 可分为解析解法和数值解法两类。解析解法有: 文克尔弹性地基梁法、倒梁法、简支梁或连续梁法; 数值解法有: 矩阵法、差分法。现分别作简要介绍。

2.1.1 文克尔弹性地基梁法

许英姿、唐辉明等人采用此种格构锚固计算方法, 认为: 格构梁受锚固力的作用压在坡面上, 使坡面对梁产生反作用力, 格构梁可视为作用于地基上的梁, 梁受到若干锚固力和基底反力的作用。为了简化计算, 提出两点假定:

(1) 假定纵梁刚度远大于横梁, 可仅考虑纵梁对荷载的传递作用。

(2) 假定钢筋砼梁为弹性材料, 锚索预应力作为集中力作用在格构梁上。

对坡面土体模型采用文克尔地基模型, 将格构梁视为弹性梁。将弹性地基梁按照其特征长度可以分为无限长梁、半无限长梁和有限长梁, 建立边界条件, 求解微分方程推导出文克尔地基上弹性地基梁的解析解。

2.1.2 倒梁法

格构梁内力计算中的倒梁法主要引用柱下条形基础的计算方法。有以下假定:

(1) 假定格构梁的基底反力为直线分布。

(2) 假定锚杆(索)为固定铰支座。

在此前提下, 以基底净反力作为荷载, 将格构梁看作倒置的连续梁进行内力的计算。当计算所得的支座反力与锚杆(索)的力不相等时, 可采用逐次渐进的方法调整基底反力, 即将支座处的不平衡均匀分布在支座附近的 $1/3$ 跨度范围内, 然后再进行连续梁分析, 可反复多次, 直到支座反力接近锚杆(索)作用于节点的荷载为止。

2.1.3 简支梁或连续梁法

目前的三峡规范中采用此种计算方法进行格构梁的设计。在计算格构梁内力时, 不考虑梁的自重和梁上的覆土重力引起的地基反力作用, 只考虑锚杆(索)的拉力。根据锚杆(索)的拉力及格构梁截面尺寸及混凝土自重确定出单位宽度的梁底地基反力。格构梁可看作在此反力作用下, 以锚杆(索)作为支座的简支梁或多跨连续梁, 按结构力学中的方法进行计算, 可得基本结构, 结合图乘法可得基本结构的弯矩图及剪力图。

2.1.4 矩阵法

李德芳、张友良等人根据文克尔假定, 利用结构力学理论建立了锚杆(索)格构梁的力学模型。用 Visual C++ 编制了相应软件进行格构梁的计算。在建立格构锚固力学模型之前, 提出三点假定:

(1) 将土体视为一系列相互独立的土弹簧, 格构梁就作用在这些弹簧上。

(2) 锚杆(索)力作为一个外力作用在格构梁上。

(3) 格构梁作弹性体。

矩阵法是应用结构力学理论, 将连续的格构梁划分为若干单元的离散体, 简单的借力的平衡条件和位移协调条件用

矩阵建立方程, 用电子计算机进行求解的方法。

2.1.5 有限差分法

吴荣燕、吕小平等人将有限差分法引入格构梁的计算中。有限差分法是一种数学上的近似, 用有限差分法求解格构梁的挠度和内力, 就是用差分方程代替微分方程和边界条件, 把微分方程的求解变为线性代数方程组的求解。将格构梁看作是文克尔地基上的弹性梁。以梁的挠度为 w 未知量用差分法求解梁的微分方程, 通过求出各结点的挠度, 从而求得各结点的内力值。由差分的基本原理可推得节点的差分方程, 根据此差分方程的形式对每个节点都建立一个差分方程, 组成一个多维的线性方程组。求解该方程组, 可得各节点的挠度。再利用内力与挠度的关系, 即可求得各结点的内力值。根据弹性框架梁差分计算方法, 建立靠边界结点的差分方程时, 要用到边界外虚结点的未知挠度。如果梁系的边界是固支边或简支边, 则可利用边界条件, 把边界外一行虚结点的挠度及附近结点的挠度表示。如果是自由边, 则可利用边界条件 $M = V = 0$ 求出虚结点挠度和边界内结点挠度的关系。

2.2 试验方面^[22~25]

对于格构梁的试验研究国外进行的较少, 国内近几年有过一些研究, 按其试验方式可分为两种, 一种是现场试验, 另一种是室内模型试验。西南交通大学杨明、胡厚田等人在福建漳龙高速公路和溪段选择试验场地进行现浇钢筋混凝土锚固结构的试验研究, 分析了预应力锚索格梁与土体相互作用的特点, 根据土与结构物相互作用的原理, 推导出基于 Winkler 假定的锚索格梁内力计算模式, 并应用拉格朗日元法对边坡锚固效应进行了数值模拟, 认为预应力锚索格梁控制边坡变形的效果明显, 加固范围比较广阔; 西南交通大学的夏雄、周德培等人在京珠高速公路上选择一个试验工点, 进行了岩石边坡上现浇钢筋砼格构锚固结构的现场试验, 提出基于文克尔弹性地基梁的格构梁内力计算方法, 此外他们还认为对于此类格构锚固措施应该分锚索张拉阶段和工作阶段分别计算格构梁内力, 在张拉阶段宜按 Winkler 地基模型计算纵梁内力, 按连续梁法计算横梁内力以使计算简化; 对于工作阶段在有条件时宜按 Winkler 地基模型计算纵梁内力, 否则按连续梁计算纵梁内力, 最好能作二者的比较计算, 对于横梁则按连续梁法进行计算。浙江大学的尚岳全等人依托金丽温高速公路高边坡加固工程项目通过现场勘测、监测, 取得锚索预应力形成和保持过程中索体、锚墩和框格梁的变形、应力及边坡位移数据, 为边坡压力分散型锚固技术及边坡稳定性评价提供了科学的基础数据资料, 在该工程中得到了成功的应用, 取得了很好的社会效益和直接的经济效益; 此外还通过数值模拟方法, 研究了锚索张拉条件下框格梁和边坡接触应力的分布规律, 提出了锚索张拉影响半径估算公式和框格梁梁高设计建议值, 对边坡锚固设计具有重要的指导意义和适用价值。深圳高速公路股份有限公司的林国辉等人进行了现浇钢筋砼格构梁的室内模型试验研究, 分析了斜坡坡率、梁内平行坡面荷载、锚固力等影响因素变化时对格梁受力的影响, 并得出结论, 对格梁的设计提供了有

益的参考。西南交通大学的刘小丽、周德培等人结合西部交通建设科技项目“川藏公路前龙段滑坡机理与整治技术研究”进行了大型室内地质力学模型试验。根据实测预应力锚索格梁的内力大小、分布形式,提出了预应力锚索格梁的有限元力学计算模型,并将极限状态设计思想引入设计中。

3 现浇钢筋混凝土格构锚固结构研究展望^[3,18~21]

由于现浇混凝土格构锚固措施在我国应用的时间不长,在此方面的研究也很有限。随着这种新型支挡结构的广泛应用,对此类结构的研究必将深入细致。展望未来,现浇钢筋混凝土格构锚固研究主要有以下几个主要方面:

3.1 深入进行锚固机理的研究

现浇钢筋混凝土格构锚固措施多应用于松散地层滑坡,因此锚杆(索)在松散地层中的应力传递与响应问题、预应力衰减问题、群锚效应以及格构锚固对加固区岩土体力学性质的影响等问题都是值得进一步研究的课题。

3.2 进行试验研究

由研究现状可知,目前为止对现浇钢筋混凝土格构锚固结构的试验研究还不多,要研究清楚该结构各构件的工作机理,提出相应的设计计算模式,制定相应规范还需要进行大量的试验研究,以积累实测资料,用于理论分析。

参考文献:

- [1] 建设部 建筑边坡工程技术规范[S]. 2003
- [2] 张生华,李国富 边坡控制中锚杆作用机理分析研究[J]. 中州煤炭, 2003, (3): 1- 2
- [3] 许英姿,唐辉明 格构锚固措施及其在滑坡防治中的应用[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 91- 94
- [4] 许英姿,唐辉明 新型支挡加固措施在滑坡防治中的应用[J]. 地质勘探安全, 2001, 8(1): 19- 22
- [5] 许英姿,朱劲松 公路边坡防护中常见格构锚固结构分析[J]. 桂林工学院学报, 2003, 23(1): 106- 110
- [6] 程少荣,王冬珍 格构锚固技术及其在滑坡整治中的应用[J]. 人民长江, 1997, 28(6): 26- 28
- [7] 陆士良,汤雷,杨新安 锚杆锚固力与锚固技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998
- [8] 李军,卞鹏,张宏博 滑坡体预应力锚固效应及变化规律研究[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2003, 17(1): 21- 24
- [9] 吴金生,吴和政 框格梁式预应力锚索在公路滑坡治理中的应用[J]. 西部探矿工程, 1999, 11(3): 109- 111
- [10] 许英姿,唐辉明 滑坡治理中格构锚固结构的解析解分析[J]. 地质科技情报, 2002, 21(3): 89- 93
- [11] 许英姿,唐辉明 滑坡治理中预应力锚索格构梁受力分析[J]. 安全与环境工程, 2002, 9(3): 24- 26
- [12] 许英姿 滑坡治理中格构锚固结构的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(11): 1915- 1915
- [13] 杨天林 基础工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999
- [14] 袁建议,陈洪凯 钉锚复合抗滑结构研究及应用[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(1): 56- 59
- [15] 李德芳,张友良 边坡加固中预应力锚索地梁内力计算[J]. 岩土力学, 2000, 21(2): 170- 172
- [16] 吴荣燕,吕小平 框架锚索中框架内力计算的差分法[J]. 四川建筑, 2003, 23(4): 55- 56
- [17] 肖剑秋,赵海斌 锚杆网格梁在护坡中的作用与机理分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(B6): 2218- 2220
- [18] 高屹 浅析弹性地基梁设计模型与计算方法[J]. 甘肃科技, 2003, 19(3): 54- 55
- [19] 王龙,朱彦鹏 弹性地基梁设计方法比较与分析[J]. 甘肃科技, 2002, 18(1): 39- 40
- [20] 黄晓华 公路边坡病害治理的轻型支挡结构[J]. 重庆交通学院学报, 1999, 18(3): 90- 94
- [21] 喻和平,田斌 滑坡防治措施的现状和发展[J]. 甘肃工业大学学报, 2003, 29(2): 104- 107
- [22] 杨明,胡厚田 路堑类土质边坡锚固技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2002
- [23] 夏雄,周德培 预应力锚索地梁的设计理论及工程应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2002
- [24] 陆锡铭,尚岳全,杨献文 破碎岩质边坡压力分散型锚固技术研究[EB/OL]. 浙江省科技信息网, 2004
- [25] 林国辉 路堑边坡锚固格子梁模型试验[J]. 公路交通技术, 2004, 6(3): 19- 22
- [26] 刘小丽 新型桩锚结构设计计算理论研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2003

3.3 完善设计理论、制定相应规范

现浇钢筋混凝土格构锚固的设计理论以及传力机理还值得进一步研究。目前现浇钢筋混凝土格构梁的设计方法较多,但是总结上述方法,可以看出这些方法中地基模型的选取基本上都是选用文克尔地基模型,将格构梁看作文克尔弹性地基上的梁。但是由于文克尔假设本身的缺点是没有反映地基的变形连续性。当地基表面在某一点承受压力时,实际上不仅在该点局部产生沉陷,而且在临近区域产生沉陷。由于没有考虑地基的连续性,故文克尔假设不能全面地反映地基梁的实际情况,特别对于密实厚土层地基和整体岩石地基,将会引起较大的误差。鉴于各种计算模型和方法的欠合理性,应进一步分析在锚固力作用下,现浇钢筋混凝土格构梁作为框架的合理计算模式,并制定相应规范对目前格构锚固设计相对混乱的现状进行调整。

3.4 结构优化设计

对格构竖梁与横梁的受力情况、应力分布、应力传递与地基土强度间的关系及现浇钢筋混凝土格构梁对地基土的影响范围、锚杆(索)的锚固角、锚固长度、锚固间距和预应力锚索的应力损失等问题进行研究,从而帮助确定格构锚固措施的合理结构型式,使得结构受力更合理、建造更经济。这将是未来格构锚固措施的一个新的研究方向。