

Автоматизированная обработка показателей физико-механических свойств горных пород Добруджанского угольного бассейна

Евстати Иванчев, Георги Манев

Научно изследователски институт по полезни изкопаеми, 1505 София

E. Ivanchev, G. Manev — Automated Data Processing of Physical-Mechanical Properties of Sedimentary Complexes of Dobrudza Coal Basin. Automated data processing was carried out into two subsequent stages. First, a specialized factographic data base including 36 quantitative features of physical-mechanical properties and 4 qualitative features together with their corresponding classifiers and codes was built up. Second, univariate statistical analysis, estimation of extremal values, theoretical distribution inferences, bivariate and multivariate correlation and regression were done. Interpretation of results is also given.

Добруджанский угольный бассейн (ДУБ) находится в юго-восточной части Мизийской платформы, точнее в пределах Варненской впадины. Угленосная формация верхнекаменноугольного возраста составлена из песчаников, аргиллитов, алевролитов и углей. Она покрыта мезокайнозойским осадочным комплексом с мощностью 1200—1400 м, составленным известняками, доломитами, мергелями и глинами. Горные породы верхнего комплекса характеризуются различной степенью литификации, трещиноватостью, кавернозностью, обводненностью и механическими свойствами. Необходимость максимально полного использования полученной фактографической лабораторной информации обуславливается сложностью инженерно-геологических условий ввиду большой глубины залегания углей.

Для решения этой проблемы создана специализированная фактографическая база данных о физико-механических свойствах горных пород. Они определялись в лабораторных условиях на образцах, изготовленных из kernового материала. Признаковое пространство базы состоит из 4 качественных и 36 количественных (числовых) показателей. Качественные характеристики включают местоположение и литолого-петрографическое описание проб и по сути дела представляют собой метаданные. Они используются для формирования различных выборок для дальнейшей обработки в зависимости от решаемой задачи. Для качественных характеристик разработаны классификаторы с деревообразной структурой и соответствующие пятичисловые иерархические коды (табл. 1).

В объектно-характеристической таблице включены глубина залегания, естественная влажность (W_e), число пластичности, набухание, объемная

Таблица 1

Часть классификатора качественного параметра „грунт“

Грунты	Код
Обломочные цементированные	13000
Крупнообломочные — конгломераты	13130
Мелкообломочные — песчаники	13190
Пылеватые и глинистые	
Алевриты	13170
Аргиллиты	13020
Химические осажденные и биохимические	16000
Известняки	16030
Органогенные известняки	16031
Глинястые известняки	16032
Доломиты	16020
Мергели	16050

(ρ_n) и удельная плотность, предел прочности на сжатие (R_c) и растяжение (R_p) в сухом, водонасыщенном и замороженном при -15 и -25°C состояниях, сцепление (C) и угол внутреннего трения в сухом и водонасыщенном состояниях, статический (E) и динамический модуль упругости, деформационный модуль ($E_{\text{деф}}$), коэффициент Пуассона (статический и динамический) и скорость упругих продольных волн (V_p). Все механические параметры за исключением некоторых в замороженном и водонасыщенном состояниях определены перпендикулярно и параллельно слоистости горных пород.

Для типизации и схематизации инженерно-геологического разреза основные выборки сделаны на основе литологического принципа. Были обработаны 7 выборок — песчаники, аргиллиты, алевриты, известняки, доломиты, мергели и глины.

При одномерном статистическом анализе определены минимальное, максимальное и среднее значение, медиана, стандарт, коэффициент вариации, числовые границы ураганных проб, среднее значение, стандарт и коэффициент вариации без ураганных проб. С хорошей надежностью определены расчетные значения некоторых параметров. Чаще всего это объемная и удельная плотность, угол внутреннего трения, скорость продольных волн и коэффициент Пуассона. Для остальных показателей обычно разброс более высокий. Здесь нужны или больший объем данных, или обработка более однородных выборок. Чем однороднее горная порода, тем больше параметров быстрее доходят до своего математического ожидания. Например, песчаники разделены на 6 петрографических типов. При общем числе данных в выборке $N=247$ для 10 параметров среднее значение получено с хорошей надежностью. Для доломитов, которые одного (верхнеюрского-нижнемелового) возраста, для $N=65$ хорошая надежность достигнута в 18 случаях.

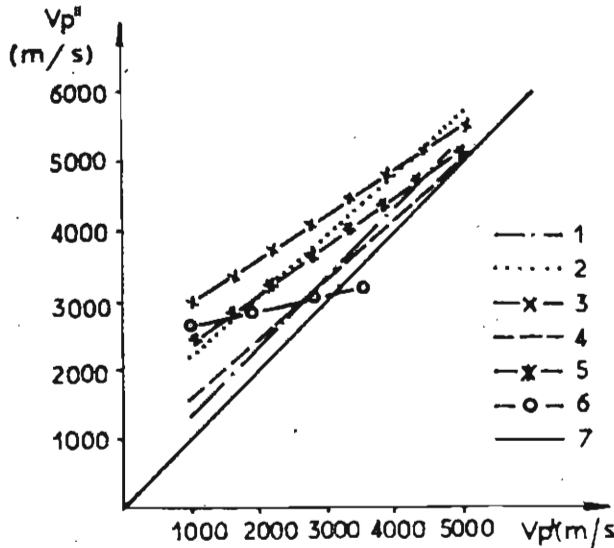
Сделан подробный анализ ураганных значений. Для песчаников, например, ураганные пробы при пределе прочности сжатия являются те, у которых $R_c < 93 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Оказалось, что это глинистые песчаники неогена и песчаники из древней каменноугольной зоны выветривания.

Для некоторых параметров известняков и доломитов выведены теоретические кривые распределения (Иванчев, 1978). Большинство из них асимметричны. Они первого типа по Пирсону и совпадают с бетта распределением. Общий вид уравнения следующий:

$$p_j = a \left(1 + \frac{x_j}{b}\right)^c \left(1 - \frac{x_j}{d}\right)^e,$$

где p_j — теоретическая частота в j -том интервале и x_j — середина того же интервала. Конкретные результаты для коэффициентов a, b, c, d и e показаны в таблице 2.

При помощи двумерного корреляционного и регрессионного анализа исследована взаимосвязь большого числа физико-механических показателей



Фиг. 1. Акустическая анизотропность горных пород ДУБ
 1 — песчаники; 2 — алевролиты; 3 — аргиллиты; 4 — доломиты; 5 — известняки; 6 — глины; 7 — линия изотропии

для различных по литологическому составу горных пород. Для тех, у которых коэффициент корреляции и (или) корреляционное отношение больше 0,7, получены соответствующие линейные или криволинейные регрессионные уравнения. Некоторые из них имеют очень высокую степень достоверности и могут быть использованы для определения зависимых переменных.

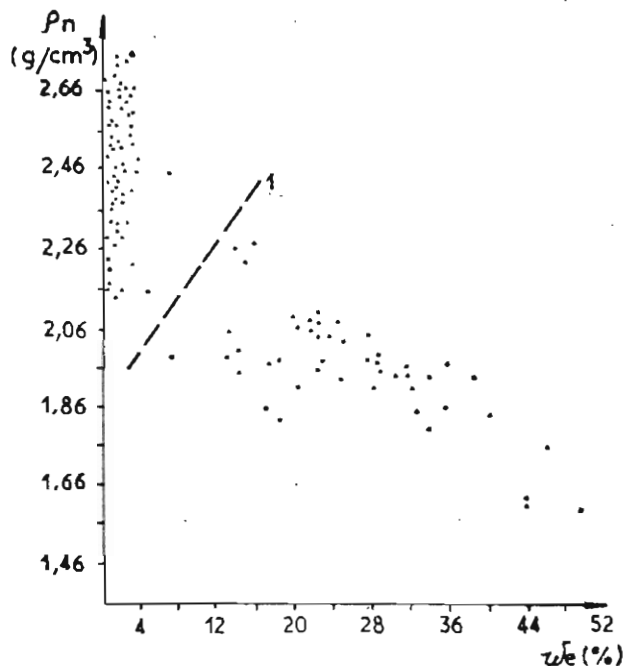
Таблица 2

Коэффициенты теоретических кривых распределения

Параметр	Горная порода	Коэффициенты				
		a	b	c	d	e
R_p	известняки	1,8	0,56	0,53	0,19	-0,48
	доломиты	10,5	0,21	0,77	0,16	0,58
R_c	известняки	11,1	249,7	0,40	679,0	1,10
	доломиты	10,7	619,9	0,91	335,4	0,48
R_p	известняки	7,3	19,8	-0,43	39,4	0,14
	доломиты	6,2	28,4	-0,20	23,5	-0,34

На фиг. 1 показаны линейные регрессии, характеризующие акустическую анизотропность горных пород. Видно, что у всех литологических разновидностей скорость параллельно слоистости (V_p^H) выше, чем соответствующая скорость перпендикулярно слоистости (V_p^P). Видна так же тенденция их вы-

равнивания при высоких значениях скорости, т.е. при увеличении плотности. Для глин увеличение V_p минимально, и они проявляют анизотропность смешанного типа (Иванчев, 1984). Песчаники и алевролиты сохраняют степень своей анизотропности в интервале 1000—5000 m/s. Чем выше степень метаморфизма аргиллитов, тем ниже степень их акустической анизотропности.



Фиг. 2. Две совокупности горных пород ДУБ
 / — граница между совокупностями по объемной плотности и естественной влажности

Таблица 3

Множественные линейные регрессии для сарматских известняков

Уравнение	F	r
$C = 0,032 V_p + 1,31 R_p - 49,5$	7,7	0,750
$E_{\text{обш}} = 0,033 V_p + 1,05 R_p - 59,3$	10,3	0,795
$E = 0,133 V_p - 5,36 R_p - 136,5$	3,4	0,603
$R_c = 16,2 R_p + 16,3$	8,8	0,638

r — коэффициент множественной корреляции. F — критерий значимости регрессионных коэффициентов. Критическое значение $F=3,34$

Большинство механических показателей проявляют анизотропность такого же характера, как у глин. Для общей характеристики массива горных пород ДУБ сделана автоматизированная графическая оценка различных параметров независимо от литологического состава проб. На фиг. 2 показан общий характер изменения плотности в зависимости от естественной влажности. Четко видно, что данные группируются в двух совокупностях. В первой находятся песчаники, аргиллиты, алевролиты, известняки и доломиты, для которых характерна

низкая влажность и высокая объемная плотность, которые практически не связаны между собой. Во вторую попадают мергели и глины, для которых намечается тенденция уменьшения объемной плотности с увеличением влажности. Средняя прочность на сжатие грунтов второй совокупности низкая. Для мергелей она около $100 \cdot 10^5 \text{Pa}$, а для глин — $20 \cdot 10^5 \text{Pa}$.

При помощи множественной корреляции найдены некоторые линейные регрессионные модели, которые дают возможность прогнозирования некоторых более тяжело определяемых прочностных и деформационных показателей грунтов (Комаров и др., 1976). Так, например, для сарматских известняков получены некоторые прогнозные уравнения (табл. 3).

Создание специализированных баз данных и их связь с комплексами обрабатывающих программ для ЭВМ является очень перспективным способом для автоматизации инженерно-геологических исследований (Борейко, и др., 1983). Это дает возможность полностью использовать наличную информацию для обработки и интерпретации. Все это позволяет сократить дорогостоящие разведочные работы и делать научно обоснованные прогнозы.

Л и т е р а т у р а

- Борейко, Л. Г., Г. А. Белявский, Р. А. Смирнов, 1983. Система автоматизации инженерно-геологических изысканий для строительства. — Киев, Будивельник. 80 с.
- Иванчев, Е., 1978. Использование кривых Пирсона для аппроксимации эмпиричных распределений инженерно-геологических параметров. — Сб. „25 г. ВМГИ“, 4, 195—200.
- Иванчев, Е., 1984. Върху количествената оценка и типизацията на анизотропността на седиментни скали. БАН, Инж. геол. и хидрогеол., 14, 28—39.
- Комаров, И. С., Н. М. Хайме, А. П. Бабенышев, 1976. Многомерный статистический анализ в инженерной геологии. М., Недра. 199 с.

(Постъпила на 11. I. 1985 г.)